جامعة تشرين
كلية الهندسة الميكانيكية و الكهربائية
قسم هندسة القوى الميكانيكية
الدراسات العليا/ هندسة الطاقة الشمسية



الاستفادة من الطاقة الشمسية في إنتاج الغاز الحيوي

The benefit of using solar energy to produce Biogas

دراسة أعدت لنيل درجة الماجستير في هندسة الطاقة الشمسية

إعداد

م. أحمد فارس زيتون

إشراف

د.م. صلاح داوود
مشرف رئيسي

أستاذ مساعد في قسم هندسة القوى الميكانيكية
كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية
جامعة تشرين

د.م. نادر علي
مشارك بالإشراف

دكتور في المركز الوطني لبحوث الطاقة
دمشق

2010

بسم اللّه الرحمن الرحيم



صدق اللّه العظيم

شكر و إهداء

أتوجه بالشكر العميق والخالص إلى
جامعة تشرين وكلية الهندسة الميكانيكية
والكهربائية وبالأخص قسم القوى
الميكانيكية على الجهود التي بذلوها .
كما اخص بالشكر الدكتور صلاح داوود
والدكتور نادر علي وإلى كل من ساهم في
إنجاح هذا البحث.

قدمت هذه الرسالة استكمالاً لمتطلبات نيل درجة الماجستير في هندسة القوى الميكانيكية اختصاص طاقة شمسية، وقد تمت مناقشة الرسالة والموافقة عليها من قبل لجنة الحكم المؤلفة من السادة:

د . م وجيه ناعمة:

أستاذ مساعد في قسم هندسة القوى الميكانيكية – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة دمشق

د . م صلاح داوود:

أستاذ مساعد في قسم هندسة القوى الميكانيكية – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة تشرين

د . م عهد سليمان:

أستاذ مساعد في قسم هندسة القوى الميكانيكية –كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة تشرين

وذلك بتاريخ 2010/9/22 م

الدكتور	الدكتور	الدكتور
عهد سليمان	**صلاح داوود**	**وجيه ناعمة**

ملخص:

تعتبر تكنولوجيا الغاز الحيوي مصدراً من مصادر الطاقات المتجددة ذات التوجه المحافظ على البيئة، حيث تعتمد على تحلل المواد العضوية إلى مكوناتها الأولية الأساسية بواسطة بكتيريا خاصة تحت ظروف حرارية ثابتة مناسبة وبغياب الأوكسجين، وعملية التحلل تحدث بشكل طبيعي في أعماق البحيرات والتجمعات المائية وأعماق التربة، وأيضا في مواقع من صنع الإنسان مثل مخلفات صناعة الألبان والمياه العادمة ومكبات النفايات الصلبة.

ينتج عن هذه العملية خليط قابل للاحتراق مكون من غازات الميثان وثاني أوكسيد الكربون (يدعى الغاز الحيوي)، وينتج أيضا سماد طبيبعي معالج على شكل سائل.

إن خروج غاز الميثان وغاز ثاني أوكسيد الكربون بصورة حرة إلى الغلاف الجوي جراء عمليات التحلل الهوائي يسبب زيادة تأثير ظاهرة البيت الزجاجي، وتأثير غاز الميثان يعادل /21/ مرة تأثير غاز ثاني أوكسيد الكربون.

وتعتبر تقنية الغاز الحيوي في بدايتها في سوريا، حيث قام المركز الوطني لبحوث الطاقة، بتنفيذ مشروع إنشاء 19 مخمراً (بحجم $14\ m^3$ لكل مخمر) في ريف السويداء، وتعتبر هذه الدراسة داعمة لهذه المشاريع وتساهم في تطويرها .

وباعتبارعامل درجة الحرارة من العوامل الهامة، والتي تساهم في تسريع إنتاج الغاز الحيوي وخفض المدة اللازمة لعملية التخمير، لذلك تهدف هذه الدراسة إلى بيان أهمية درجة حرارة التخمير على الانتاج اليومي للغاز الحيوي الناتج من مخمر لاهوائي دفعي محكم الإغلاق ومعزول بعازل من الصوف الزجاجي سماكة 2.5 cm، مزود بخلاط ومكان لدخول وخروج مواد التخمير، وهو مزود بدارة تحكم ودارة تسخين تؤمن طاقتها من لاقط شمسي أنبوبي يميل بزاوية 45^o حيث تم إجراء أربع تجارب وبدرجات حرارة مختلفة وقياس الإنتاج اليومي للغاز، ومقارنة حجم الإنتاج في التجارب الأربعة، ودراسة مدى إمكانية الاستفادة من الطاقة الشمسية ضمن ظروف جوية مختلفة حيث إن الطاقة الشمسية هي المصدر الحراري الذي يعمل على رفع درجة الحرارة باستخدام طاقة الشمس بدلأ من استخدام مصادر أخرى من الطاقة مثل الطاقة الأحفورية أو الطاقة الكهربائية، وبالتالي استخدام الطاقة الشمسية يمثل استخدام طاقة مجانية تساهم في تسريع إنتاج طاقة مجانية أخرى هي طاقة الغاز الحيوي.

الفصل الأول

الطاقة الشمسية والطاقات المتجددة واستخداماتها

1-1 الطاقة الشمسية:

الشمس هي مصدر طاقة حياة الأرض إذ لولاها لما وجدت الحياة بشكلها الحالي على سطح كوكبنا، وقد أدرك الإنسان منذ القدم أهمية الشمس في حياته، فلم يدخر وسعا طوال تاريخه في أن يدرس حركتها، وأن يعمل باستمرار على كشف المزيد والمزيد من الحقائق المحيطة بها.

تعتبر الشمس أكبر من كل كواكب المجموعة الشمسية مجتمعة، حيث يبلغ وزنها حوالي 1.986×10^{30}kg وهو ما يعادل حوالي 99.87% من مجمل كتلة النظام الشمسي بأجمعه وحوالي 333000 مرة قدر كتلة الأرض، ويبلغ قطر الشمس، حوالي 1400000 km مقارنة بقطر الأرض الذي يبلغ حوالي 12800 km أما المسافة بين الأرض والشمس فتبلغ حوالي $150*10^{6}$ km [1].

وتعتبر طبقة الفوتوسفير مصدر الإشعاع الرئيس من الشمس، وتبلغ درجة حرارتها حوالي 6 آلاف درجة كالفن ، تشع الشمس طاقة بمعدل 3.85×10^{23} kW تستقبل الأرض منها حوالي1.8×10^{14} kW، وإذا أخذنا بعين الاعتبار أن استهلاك العالم من الطاقة يبلغ حوالي 10^{10} kW تبين أن كمية الطاقة الشمسية التي تتلقاها الأرض تعادل حوالي 20 ألف مرة قدر استهلاك العالم من الطاقة [2].

إن كمية الطاقة الشمسية التي تتلقاها الأرض كبيرة جدا مقارنة باحتياجات العالم من الطاقة، غير أن علينا إدراك حقيقة أن هذه الطاقة تسقط على سطح الأرض الذي يتألف من بحار وجبال ووديان ومناطق طبوغرافية مختلفة، فمثلا تغطي البحار حوالي 70% من سطح الأرض، وهي مناطق غير ملائمة لاستغلال الطاقة الشمسية سواء نتيجة لبعدها عن اليابسة أو للتكلفة الاقتصادية العالية، كذلك فإن هناك مساحات واسعة من الصحارى التي تتلقى كميات كبيرة من الإشعاع الشمسي، غير أنها غير مأهولة بالسكان وبعيدة عن مراكز الاستهلاك،.مما يجعل التفكير باستغلالها غير مجد في الوقت الحاضر.

2-1 الثابت الشمسي :

يعرف الثابت الشمسي بأنه كمية الطاقة الساقطة في وحدة الزمن على وحدة مساحة متعامدة مع الشعاع الشمسي وواقعة على سطح الغلاف الجوي المحيط بالكرة الأرضية. لايمكن في الواقع الحصول على كمية طاقة من الشمس أعلى من قيمة الثابت الشمسي، وبالنسبة لكمية الطاقة التي تصل إلى الأرض، فإنها أقل من قيمة الثابت الشمسي بسبب انعكاس قسم من الإشعاع الشمسي أو امتصاصه أثناء عبوره الغلاف الجوي، ويتم حساب قيمة الثابت الشمسي باعتبار الشمس جسما أسوداً درجة حرارته $6000\ ^{o}C$ ، ونتيجة لهذه الحسابات ينتج أن قيمة الثابت الشمسي تبلغ $1600\ W/m^{2}$ ، غير أن القياسات العملية التي أجريت بواسطة المركبات الفضائية تعطي قيمة أقل من تلك القيمة الحسابية إذ تبلغ القيمة العملية $1353\ W/m^{2}$ [3].

3-1 الطيف الشمسي:

يمثل الثابت الشمسي كل كمية الطاقة في الطيف الشمسي، وبالنظر إلى الإشعاع الشمسي نجد أنه يتكون من مجموعة موجات كهرومغناطيسية تتراوح أطوالها ما بين0.2-3 μm والواقع أن الإشعاع الشمسي يحتوي على موجات أطول، غير أن كمية الطاقة فيها قليلة ولا تتجاوز 1% من مجمل طاقة الطيف الشمسي [4].

ينقسم الطيف الشمسي إلى ثلاث مجالات رئيسة:

1- مجال الأشعة فوق البنفسجية وتغطي الأشعة البنفسجية ذلك الجزء من الطيف الشمسي الذي يحتوي على الأشعة ذات الموجات القصيرة من 0.2 حتى طول 0.4 μm.

2- مجال الأشعة المرئية فتغطي أطوال الموجات في المجال 0.75 μm -0.4.

3- مجال الأشعة تحت الحمراء، فهي الأشعة التي يزيد طول موجتها عن 0.75 μm.

تتوزع طاقة الإشعاع الشمسي تتوزع على تلك المجالات بالنسب التالية:

يشكل الضوء المرئي 46% من هذه الطاقة والأشعة تحت الحمراء % 49 أما النسبة المتبقية من الإشعاع الشمسي، فتصدر بشكل أشعة فوق بنفسجية.

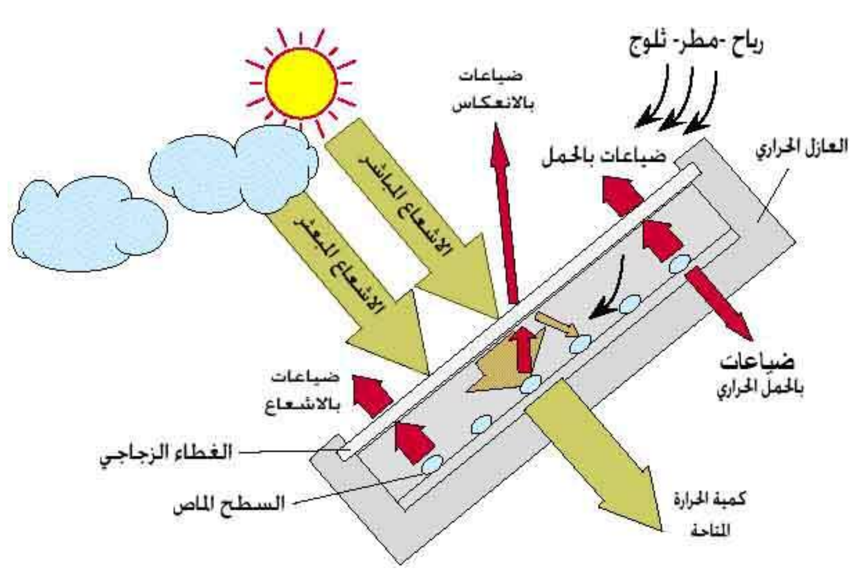
إن حوالي 40% من الإشعاع الشمسي الواصل إلى الأرض ينعكس إلى الفضاء بسبب الغيوم والغلاف الجوي وبعض السطوح كالماء والثلج والرمل، والجزء الآخر من الإشعاع الشمسي يتبعثر في أثناء مروره عبر الغلاف الجوي في كل الاتجاهات ،ويسقط قسم من هذا الإشعاع المبعثر على سطح الأرض، حيث تقوم الغيوم والغبار ببعثرة قسم منه، والقسم المتبقي يقوم بامتصاصه بخار الماء وثاني أكسيد الكربون والأوزون الموجود في الغلاف الجو ي[5].

تتكون مجموعة الإشعاعات التي ترتطم بسطح معين على سطح الأرض من ثلاثة أجزاء أساسية الشكل (1-1) وهي:

1- حزمة الإشعاع المباشر (Direct Beam Radiation).

2-حزمة الإشعاع المبعثر (Diffuse Radiation).

3-حزمة الإشعاع المعكوس(Albedo Radiation).

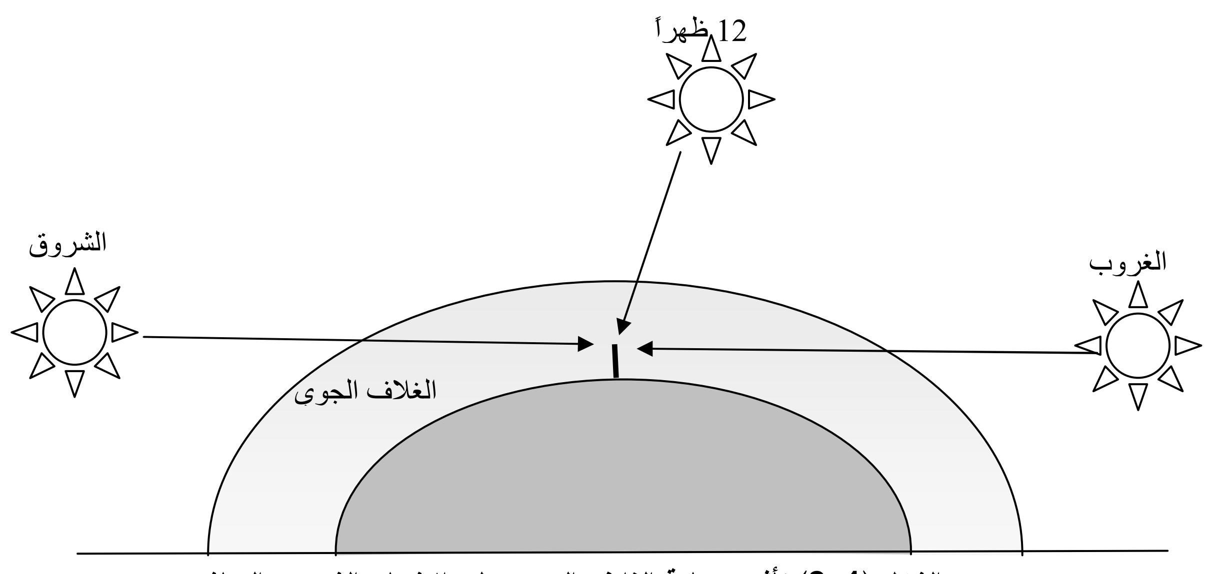


الشكل (1-1) الأقسام الأساسية للإشعاع الساقط على سطح معين على الأرض

تكون نسبة الإشعاع المباشر في الأيام المشمسة كبيرة مقارنة بالأيام الغائمة التي نسبته فيها تكـــون شـــبه معدومة أما الإشعاع المبعثر فتكون نسبته في الأيام الصافية مابين 10-20% لتصبح في الأيـــام الغائمـــة 100% أما الجزء الثالث فهو الجزء المنعكس عن طريق الوسائط المحيطة بالسطح.

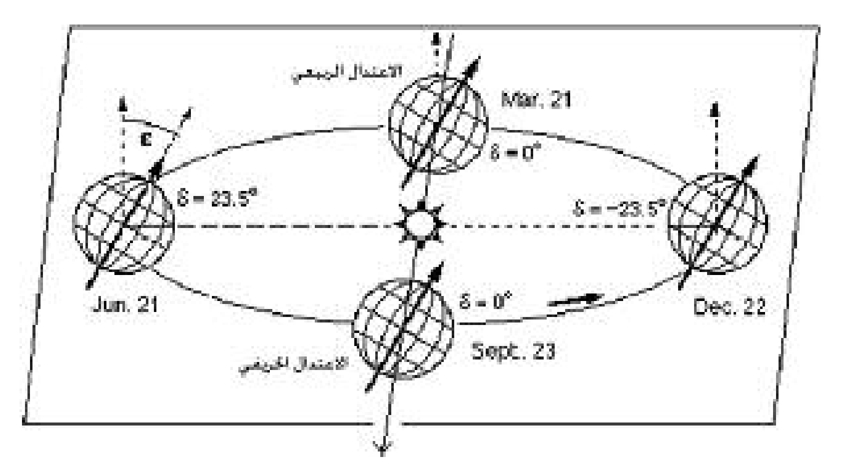
من أهم العوامل المؤثرة على شدة الإشعاع الشمسي الذي يصل إلى سطح الأرض سماكة الغلاف الجـــوي الذي سيمر من خلالها الإشعاع الشمسي.

عند منتصف النهار تكون الشمس عمودية، وبالتالي تكون سماكة الغلاف الجوي التي سيمر خلالها الإشعاع الشمسي أصغرية، وتكون الطاقة الواصلة للأرض أعظمية، أما عند الشروق و الغروب فإن سماكة الغلاف الجو ي التي سيمر خلالها الإشعاع الشمسي تكون أعظمية، والطاقة الواصلة للأرض تكون أصغرية، كما هو مبين في الشكل (1-2) ولهذا السبب فإن حجم طاقة الإشعاع الشمسي يكون مرتفعا في المناطق ذات الارتفاع الكبير عن سطح البحر.



الشكل (1-2) تأثير سماكة الغلاف الجوي على الإشعاع الشمسي المباشر

تتغير أيضا شدة الإشعاع الشمسي مابين الصيف والشتاء، وذلـــك بـــسبب مـــيلان محـــور الأرض ودورانها حول الشمس فيكون القطب الشمالي في شهر حزيران مواجها للشمس، ولهذا تنطلق الأشعة الشمسية إلى الجزء الشمالي من الكرة الأرضية بصورة عمودية تقريبا، أما في شهر كـــانون الأول، فإن القطب الشمالي ينحرف بعيدًا عن الشمس التي تبعث أقل كثافة من الطاقة الشكل (1-3).



الشكل (1–3) يبن توضع الكرة الأرضية بالنسبة للشمس على مدار السنة

1–4 استخدامات الطاقة الشمسية:

بما أن الشمس مسؤولة عن الكثير من الظواهر التي تؤثر في حياتنا ومعيشتنا، فالليل والنهار واختلاف فصول السنة وتغير أحوال الطقس كلها أمور مرتبطة بالشمس بشكل وثيق، وتؤثر في ذات الوقت على وجود الإنسان وطرق حياته، ولذلك فقد حاول الإنسان منذ فجر الحضارة أن يرصد حركة الشمس، وأن يحسب طول السنة الشمسية وأن يعرف الفصول المختلفة وتأثيرها على حياته.

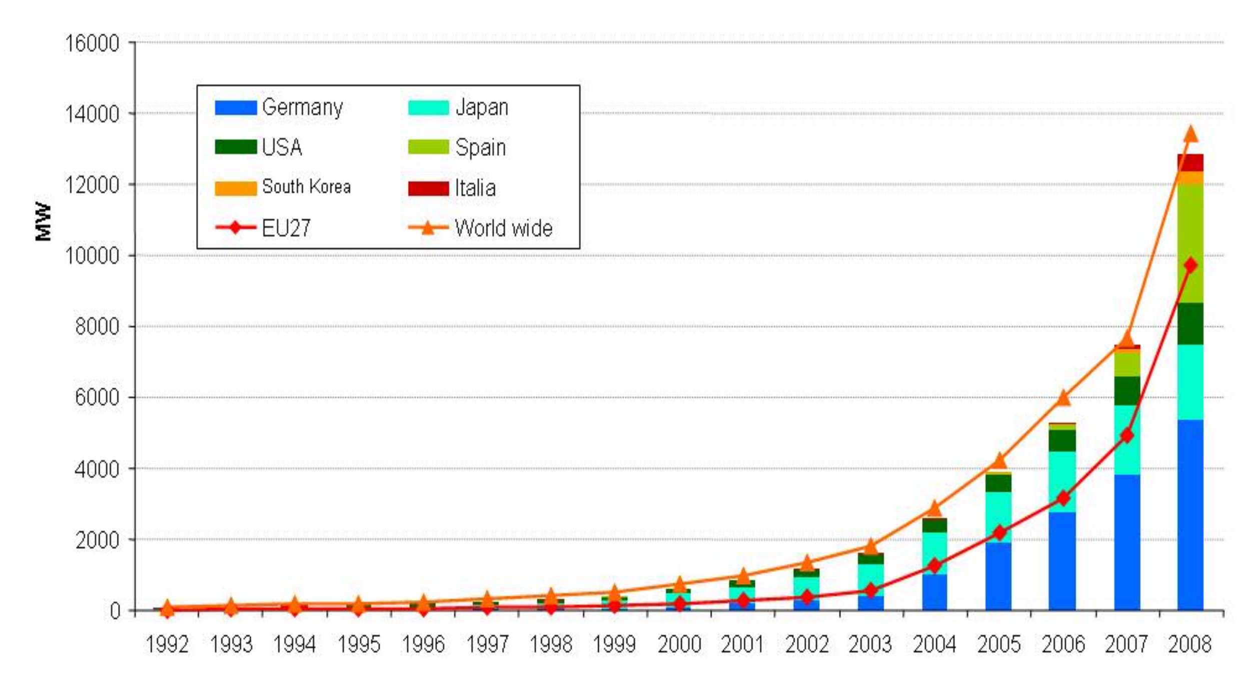
1–4–1 الاستخدامات الكهربائية:

تركز معظم أبحاث الطاقة الشمسية على توليد الطاقة الكهربائية بمختلف الطرق الممكنة، ويعود السبب في هذا إلى أن استعمال الكهرباء قد شاع بشكل واسع نظراً لأن الطاقة الكهربائية تتميز بمرونتها الواسعة وبإمكان تحويلها بسهولة إلى أشكال أخرى من الطاقة كالطاقة الحرارية والميكانيكية، وهي بذات الوقت طاقة « نظيفة » من حيث الاستعمال، ولكن محطات توليد الكهرباء التي تستخدم الطاقة الأحفورية تسبب أثاراً ملوثة للبيئة .

ومن بعض التطبيقات الكهربائية للطاقة الشمسية :

- الحاسبات والألعاب الإلكترونية والساعات.
- أجهزة الإذاعة المسموعة وشاحنات وسائط القدرة المنخفضة .
- الإنارة – أجهزة الإذاعة المرئية – ثلاجات اللقاح والأمصال – إشارات المرور والإنذار – مراوح الأسقف) التهوية – (هواتف الطوارئ).
- ضخ المياه – محطات اتصالات الموجات السنتيمترية – محطات الأقمار الصناعية الأرضية الوقاية المهبطية لحماية أنابيب النفط والغاز والمنشآت المعدنية من التآكل.

ويبين الشكل (1–4) تطور الاستخدام الكهربائي للطاقة الشمسية من عام 1992 حتى عام 2008 لمجموعة من الدول مع مجمل الاستخدام في الاتحاد الأوروبي والاستخدام العالمي [6].



الشكل (1-4) يبين الاستخدام الكهربائي للطاقة الشمسية في العالم حتى عام 2008

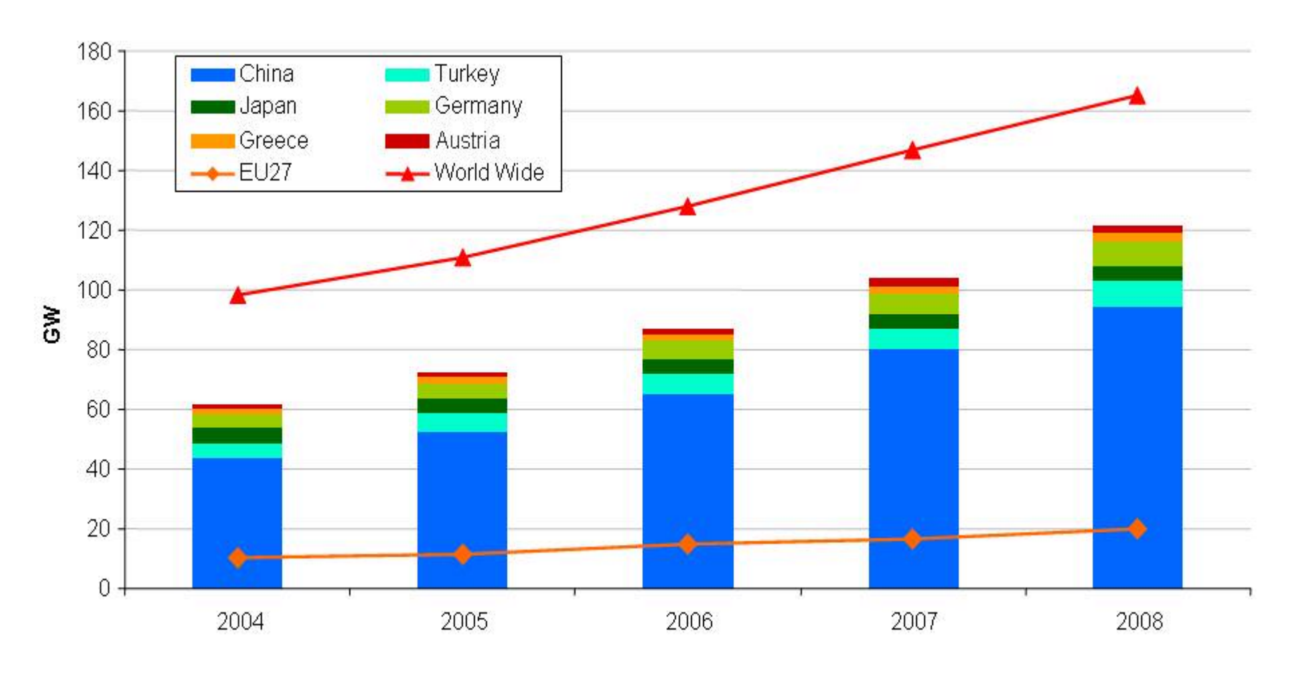
1-4-2 الاستخدامات الحرارية :

في ثلاثينات القرن الماضي أخذ العلماء يهتمون باستخدام الطاقة الشمسية لتلبية متطلبات البيوت والمساكن واحتياجاتها من المياه الساخنة وتدفئتها بالطاقة الشمسية، فقد شهد عقد الثلاثينات اتساع الاهتمام بالسخانات الشمسية في اليابان بسبب أن مصادر الطاقة في هذا البلد قليلة، ومما ساعد على انتشار هذه الظاهرة أن العالم شهد أزمة اقتصادية واسعة شملت معظم دوله في أوائل الثلاثينات.

ومن بعض التطبيقات الحرارية للطاقة الشمسية:

- منظومات تحليه المياه، منظومات تجفيف المحاصيل الزراعية والأفران الشمسية.
- أجهزة التبريد حيث تُعد الطاقة الشمسية أفضل وسيلة للتبريد، فكلما زاد الإشعاع الشمسي حصلنا على تبريد أفضل.
- منظوما ت التدفئة وتسخين المياه للأغراض المنزلية والصناعية، وهي من أكثر التطبيقات انتشاراً بسبب كفاءتها العالية وانخفاض التكلفة، حيث تستخدم اللواقط الشمسية الحرارية .

ويبين الشكل (1-5) الاستخدام الحراري للطاقة الشمسية في مجموعة من دول العالم وفي الاتحاد الأوروبي [6] من عام 1992 حتى 2008.



الشكل (1−5) الاستخدام الحراري للطاقة الشمسية في العالم حتى عام 2008

الفصل الثاني

اللواقط الشمسية الحرارية ونماذجها

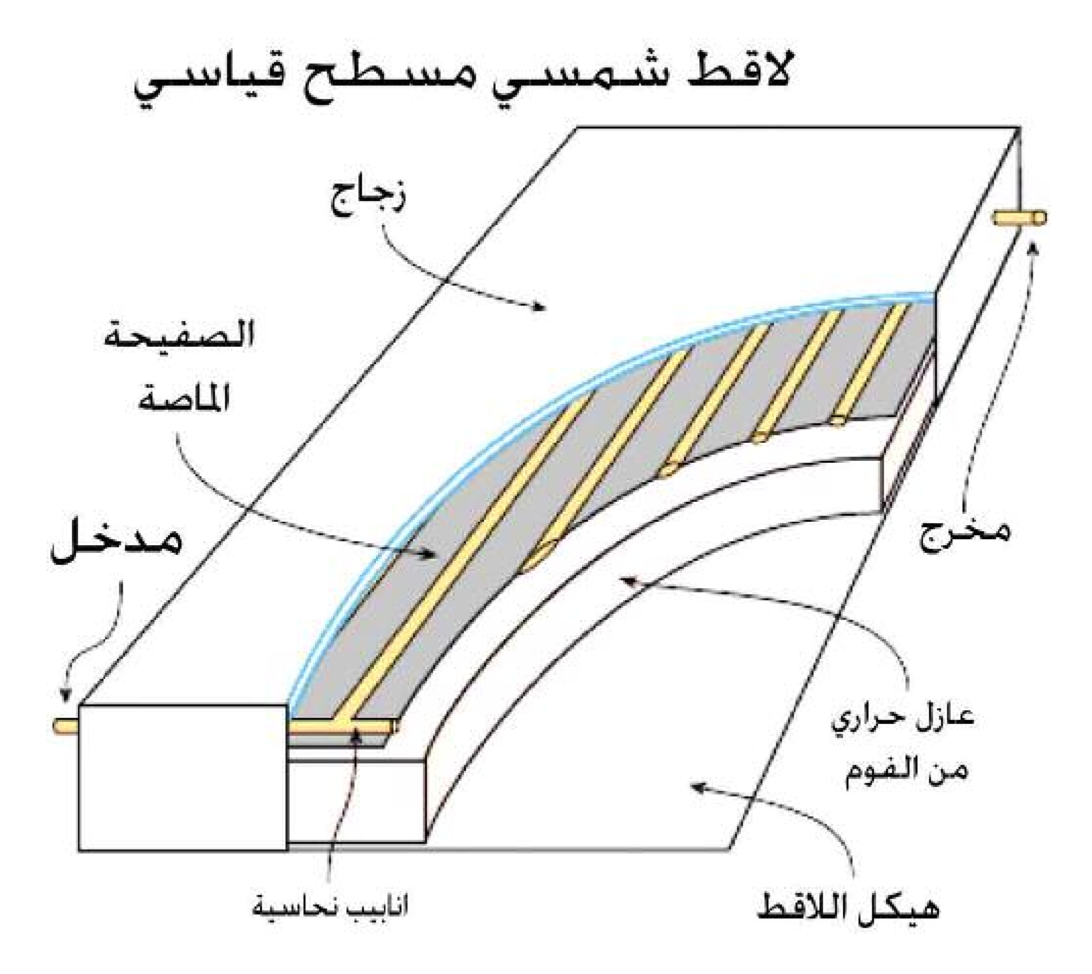
2–1 أنواع اللواقط الشمسية :

إن مهمة اللواقط الشمسية هي تحويل الأشعة الشمسية إلى حرارة، وذلك بفضل السطح الماص ذي اللـون الأسود الذي له خاصية امتصاص قسم كبير من الأشعة الشمسية الساقطة عليه .

تختلف نماذج اللواقط الشمسية عن بعضها البعض، وذلك بحسب التطبيقات المطلـوب اسـتخدامها فيهـا وبحسب درجات الحرارة والنماذج الأكثر انتشاراً، هي :

2-1-1 **اللواقط المسطحة (Flat Plate collectors) :**

وهي لواقط لها شكل مستوي، كما هو مبين بالشكل (2–1) والتي يمكن أن تصل درجة الحرارة بها من 60-90 ^{o}C حيث تعتبر هذه اللواقط فعّالة صيفاً، وتنخفض فعاليتها بشكل كبير شتاءً.



الشكل (2–1) يمثل مكونات لاقط شمسي مسطح قياسي

يستخدم هذا النوع في التطبيقات التي تتطلب درجات حرارة من 35 ^{o}C ويتألف هذا اللاقط مما يلي:

2-1-1-1 هيكل اللاقط الصندوق :

وهو صندوق معدني بشكل متوازي مستطيلات يصنع من صفائح الألمنيوم أو الفولاذ المغلفن غير القابل للصدأ بسماكات معينة والأبعاد الأكثر انتشاراً 190 cm×80×10 ويكون الصندوق محكم الإغلاق من الجوانب والخلف.

ويحتوي الصندوق على العوازل وعلى السطح الماص أما السطح الأمامي للصندوق فيغطى بغطاء شفاف عادة مصنوع من الزجاج الخاص للاستخدامات الشمسية.

2-1-1-2 الصفيحة الماصة:

الصفيحة الماصة هي العمود الفقري للاقط الشمسي ذلك أنها تقوم بامتصاص أشعة الشمس، حيث ينتج عن ذلك الفعل الحراري المتمثل بارتفاع درجة حرارة الصفيحة ، ومن ثم تنتقل الحرارة عبر الصفيحة إلى أحد الموائع الذي يسخن بدوره وترتفع درجة حرارته.

الصفيحة الماصة هي صفيحة معدنية في العادة، تصنع من النحاس أو الألمنيوم أو الحديد حسب ما تقتضيه الاعتبارات العلمية والعملية والاقتصادية ، وقد جرت محاولات لصناعة هذه الصفائح من المواد البلاستيكية في محاولة لتقليل الكلفة الاقتصادية، غير أنها لم تلاق نجاحا كبيرا، ويعتبر النحاس أفضل المواد السابقة من وجهة نظر انتقال الحرارة ذلك أن معامل انتقال الحرارة في النحاس أكبر منه في المواد الأخرى، أما الألمنيوم، فإنه أخف المواد الثلاثة وزناً، وينقل حوالي 55% مما ينقله النحاس من حرارة، أما الحديد فإنه أكثرها متانة ولا ينقل إلاّ ما يعادل 15% مما ينقله النحاس من حرارة، إلا أن انتقال الحرارة ليس هو العامل الوحيد الذي يحكم طبيعة المواد المستعملة في صناعة الصفائح الماصة. رغم الأهمية الكبيرة لهذا العامل ، فهناك مثلا الكلفة الاقتصادية لصناعة الصفائح من المواد المختلفة وهو الأمر الذي يؤثر على الجدوى الاقتصادية لصناعة المجمعات الشمسية، وإذا أخذنا هذا الجانب بعين الاعتبار نجد أن النحاس أغلى المواد الثلاثة ثمناً، إضافة إلى أن أسعاره تتغير باستمرار صعودا وهبوطا، ومن جانب آخر فإن الصفائح المصنوعة من النحاس والحديد تحتاج إلى عمليات اللحام الشائعة بينما تحتاج الصفائح ا لمصنوعة من الألمنيوم إلى عمليات ميكانيكية خاصة ، وإضافة إلى ما تقدم هناك أيضا خصائص المواد المختلفة في مقاومة آثار الظواهر الطبيعية كالحرارة العالية والرطوبة، وتأثير هذه الظواهر على فعالية الصفائح على المدى الطويل ،وعند تقرير أي المواد يحسن استعمالها في صناعة الصفائح فإن كل العوامل السابقة تؤخذ بعين الاعتبار.

يتوضع السطح الماص ضمن صندوق معدني معزول من الجهة الخلفية، ومن الجوانب ويغطي واجهته الأمامية لوح زجاجي، وبالتالي فإن اللوح الماص يقع بين الغطاء الزجاجي وبين اللوح العازل وهناك نوعان رئيسيان من السطوح الماصة:

- **السطح الماص القياسي** : يصنع عادة من المعدن (نحاس ، ألمنيوم أو فولاذ) ويقوم عادة بإعادة انبعاث كامل الطاقة الشمسية التي تم امتصاصها أي حوالي % 95-90 من الطاقة الممتصة على

شكل أشعة حرارية واقعة ضمن مجال الأشعة تحت الحمراء وبالنتيجة يكون هناك تسخين مهم للواجهة الأمامية الزجاجية وللجهة الخلفية من اللاقط الأمر الذي يؤدي لزيادة المفاقيد الحرارية.

- **السطح الماص الانتقائي:** حيث يغطى السطح الماص بطبقة تلبيس انتقائية، هذه الطبقة تعمل على تقليل الضياعات الحرارية الناتجة عن انبعاث الطاقة وبالتالي تحسين مردود اللاقط ويستخدم لأغلب اللواقط طبقة من النيكل والكروم.

2-1-1-3 الغطاء الشفاف:

هناك العديد من الأغطية الشفافة المستعملة في اللواقط الشمسية، غير أن الزجاج هو أكثرها شيوعا ويسمح الزجاج نظرا لشفافيته للجزء الأكبر من أشعة الشمس بالنفاذ إلى داخل الصندوق والوصول إلى الصفيحة الماصة ، وحين نقول إنه يسمح للجزء الأكبر من الأشعة الشمسية بالنفاذ فإننا نأخذ بالاعتبار حقيقة أن الزجاج يقوم بامتصاص جزء من أشعة الشمس الساقطة، ويعكس جزءاً آخر، بينما يسمح للجزء الباقي بالنفاذ والوصول إلى الصفيحة الماصة ، وبالنسبة لأغطية الزجاج المستعملة في المجمعات الشمسية المسطحة فإنها تسمح لحوالي%90− 80 من أشعة الشمس بالنفاذ إلى داخل المجمع ، بينما تقوم بامتصاص الجزء الآخر وعكسه.

قد يتبادر إلى الذهن سؤال عن الحاجة إلى غطاء الزجاج إذا كان يشكل عائقا أمام وصول كل الأشعة الشمسية إلى السطح ا لماص ، والواقع أن الغطاء الزجاجي يلعب دورا مهما في حياة اللاقط الشمسي، فهو يحفظ السطح الماص من آثار الظواهر الطبيعية كالمطر والثلج والغبار والأتربة ، وكذلك فإن الغطاء الزجاجي يشكل عائقاً أمام انتقال الحرارة من الصفيحة الماصة إلى الأجواء المحيطة، الأمر الذي يؤدي إلى زيادة فعالية اللاقط ، وبالإضافة إلى ما تقدم فإن من خصائص الزجاج أنه يسمح للأشعة ذات الموجات القصيرة بالنفاذ من خلاله، بينما يعترض طريق الأشعة ذات الموجات الطويلة، ولا يسمح لها بالنفاذ ، وتعرف هذه الخاصية باسم ظاهرة الاحتباس الحراري (Green House Effect) ، وهي الفكرة التي تقوم الزراعة المحمية في الأجواء الباردة على أساسها، حيث إن الجدران الزجاجية للمستنبتات تسمح لأشعة الشمس بالنفاذ إلى الداخل، ولكنها تعترض طريق الإشعاعات الحرارية ذات ا لموجات الطويلة التي تحاول الخروج. مما يؤدي إلى الاحتفاظ بالحرارة داخل المستنبت، وينطبق الأمر ذاته على اللواقط الشمسية، حيث يقوم الزجاج باعتراض طريق الموجات الحرارية الطويلة الصادرة من الصفيحة الماصة ، ويحتفظ بها داخل اللاقط لإعادة امتصاصها من قبل الصفيحة نفسها، هذا بالإضافة بالطبع إلى أن الزجاج يقلل من آثار انتقال الحرارة بوسائل الحمل والتوصيل.

إن استعمال الغطاء الزجاجي في المجمعات الشمسية ليس أمراً مطلقا بل يعتمد على طبيعة التطبيقات المطلوب من المجمع القيام بها، ويعتمد كذلك على الكلفة الاقتصادية وعلى الظروف المناخية السائدة ، فمثلا هناك بعض اللواقط الشمسية المسطحة التي تستخدم لتسخين مياه حمامات السباحة، والتي تقوم برفع درجة حرارة الحمامات بشكل تدريجي بحيث يكون فارق درجة حرارة الماء ما بين دخوله وخروجه من اللاقط لا

تتعدى درجة أو درجتين مئويتين ففي هذه الحالة لا يحتاج الأمر إلى استعمال الأغطية الزجاجة ،ذلك أن فقدان الحرارة من المجمع ليس بذي أثر كبير، ولا يوجد تبعا لذلك تبريرات اقتصادية لاستعمال الأغطية الزجاجية ، ولكن في ظل ظروف أخرى ، يجب استعمال غطاءين زجاجيين أو أكثر، وذلك لتقليل كمية التسرب الحراري من الصفيحة الماصة إلى الأجواء المحيطة ، ويشيع تعدد الأغطية الزجاجة في تلك الظروف التي يوجد فيها فروق كبيرة في درجات الحرارة بين الصفيحة الماصة والأجواء المحيطة.

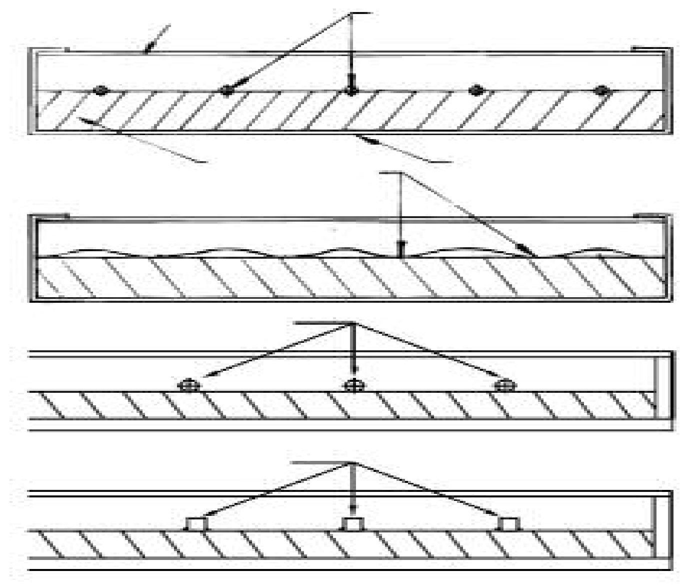
2-1-1-4 العوازل الحرارية:

إن الهدف من استعمال المواد العازلة هو العزل بين الصفيحة الماصة والصندوق الحاوي وتقليل انتقال الحرارة من الأول إلى الثاني، فبسبب امتصاص الصفيحة لأشعة الشمس ترتفع درجة حرارتها إلى أعلى من درجة حرارة الصندوق الذي يحويها ، وتتشكل بالتالي الظروف المواتية لانتقال الحرارة من الصفيحة إلى الصندوق ومن ثم إلى الخارج ، وإذا لم يتم التغلب على هذه الظاهرة وتقليل آثارها فإن قسماً كبيراً من الحرارة التي تكتسبها الصفيحة الماصة تنتقل إلى الخارج الأمر الذي يؤدي إلى تقليل كفاءة اللاقط الشمسي ، وفي التصاميم الشائعة للواقط الشمسية المسطحة يتم عزل كل أسطح الصندوق الداخلية وذلك لتقليل انتقال الحرارة إليها من الصفيحة الماصة إلى الحدود الدنيا ، ويتم هذا بالطبع ضمن المعطيات الاقتصادية المقبولة بحيث لا تزداد سماكة المواد العازلة إلى الدرجة التي تجعل كلفتها عالية، وفي معظم اللواقط الشمسية التجارية تتراوح سماكة المواد العازلة ما بين 15-25 mm، ولعل أهم أنواع ا لمواد العازلة المستعملة في اللواقط الشمسية المسطحة هي الألياف الزجاجية والألياف المعدنية والصوف الصخري والعوازل الرغوية ، وتختلف الخصائص الحرارية والتركيبية والكلفة الاقتصادية لهذه العوازل المختلفة. مما يمنح كلا منها بعض المميزات في تطبيقات معينة ، فبعضها يمتلك خاصية انخفاض معامل انتقال الحرارة داخله ، والبعض الآخر لا تتأثر خصائصه الحرارية بالرطوبة أو الحرارة العالية بينما يكون سعر البعض الآخر منخفضا ، وبشكل عام يشيع استعمال الألياف الزجاجية والعوازل الرغوية في العديد من اللواقط الشمسية المسطحة المتوفرة بشكل تجاري.

2-1-1-5 أنابيب مرور السائل :

ومن أجل أن تقوم الصفيحة الماصة بنقل الحرارة ا لمكتسبة من الإشعاع الشمسي إلى أحد الموائع لابد أن تصمم بطريقة تسمح للمائع المذكور باكتساب الحرارة من الصفيحة ، وهناك العديد من التصاميم الشائعة والمستعملة في اللواقط الشمسية المسطحة، والتي تهدف جميعا إلى تسهيل انتقال الحرارة من الصفيحة إلى المائع كما يظهر في الشكل رقم (2-2) ففي بعض هذه التصاميم تتكون الصفيحة الماصة من طبقتين معدنيتين رقيقتين تحصران بينهما مجاري يمر خلالها السائل المراد تسخينه، وفي تصاميم أخرى تحصر الطبقتان بينهما مجرى واحداً عريضاً كما في اللواقط الشمسية المستخدمة في تسخين الهواء ، وفي تصاميم أخرى يتم لحام بعض الأنابيب الأسطوانية أو المربعة المقطع بسطح الصفيحة الماصة، وذلك لنقل الحرارة من الصفيحة إلى الأنبوب ومنه إلى السائل الذي يمر في الأنبوب ، وحين اللجوء إلى استخدام الأنابيب يجب

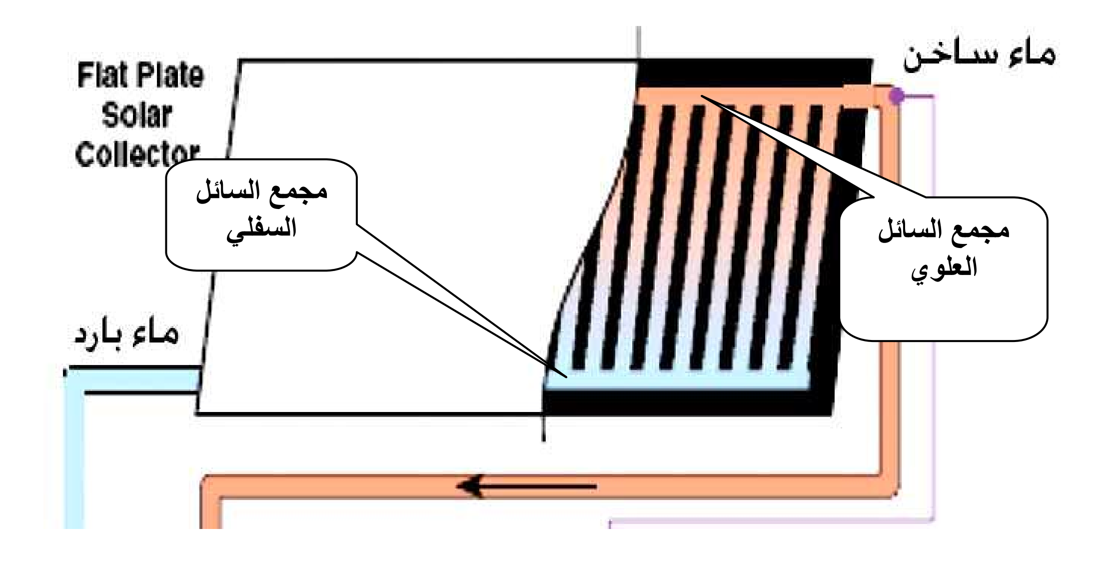
العمل على ضمان أن يلتصق سطح الأنبوب بسطح الصفيحة بحيث لا تتشكل فراغات بينهما تعيـق انتقـال الحرارة



الشكل (2-2) يبين مجاري المائع الناقل للحرارة وطريقة التصاق الأنابيب بالسطح الماص

2-1-1-6 الأنابيب المجمعة للسائل :

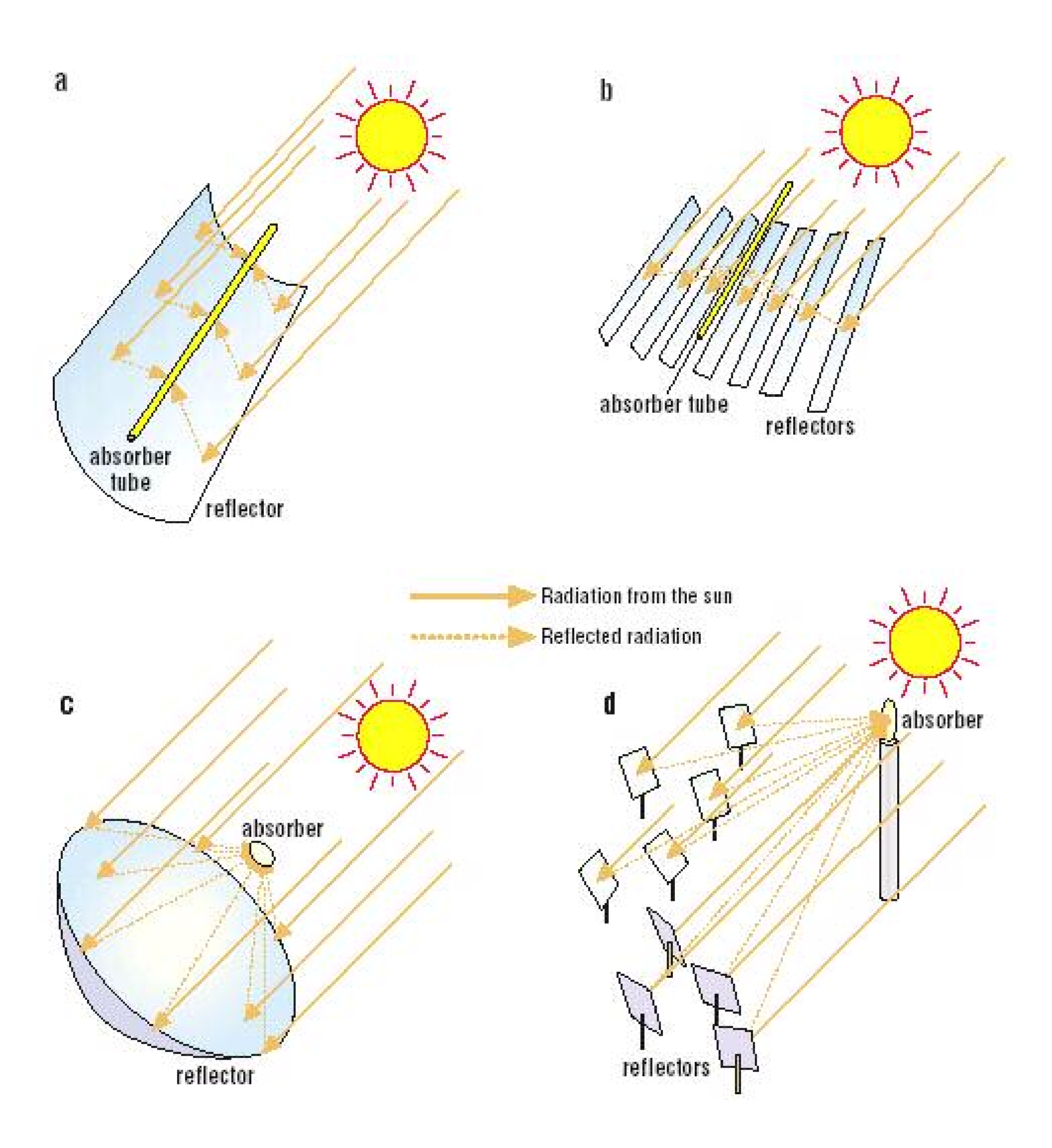
هناك أنبوبان مجمعان رئيسان في أسفل وأعلى اللاقط التقليدي الـشكل (2-3) وتكـون هـذه الأنابيب المجمعة من نفس نوع أنابيب مرور السائل، وقد تختلف عنها وذلك تبعاً للتصميم، وهـي ذات قطر أكبر من قطر أنابيب مرور السائل. يدخل الماء البارد القادم من الخزان إلى المجمع السفلي ليسخن ويتجه إلى المجمع العلوي عن طريق الأنابيب الفرعية وبعد وصوله للمجمع العلوي يخرج الماء الساخن متجهاً إلى الخزان الحراري .



الشكل (2-3) يبين مجمع السائل العلوي والسفلي

2-1-2 اللواقط الشمسية المركزة :

و تصل درجة الحرارة بها إلى 250 أو $350\ ^{o}C$ ، يتكون مجمع المجرى المركز من سطح عاكس متحرك وأنبوب ثابت يمر على طول الخط البؤري، كما في الشكل رقم (2-4) يكون السطح العاكس مقعراً، ويتخذ شكل جزء من أسطوانة ، وكما في الأشكال السابقة من المجمعات المركزة يقوم السطح العاكس بتركيز الأشعة الساقطة على الأنبوب الحامل للسائل ، ويتحرك هذا السطح بحيث يتبع حركة الشمس اليومية فقط دون أخذ تغير موقع الشمس الفصلي بعين الاعتبار.



الشكل (2-4) يبين بعض أشكال اللواقط الشمسية المركزة

تتراوح نسبة التركيز في هذا النوع من اللواقط ما بين 60–20 وهو لذلك يصلح للتطبيقات التي تتطلب درجات حرارة في المدى المتوسط $300\ ^oC - 150$. هناك أشكال أخرى من اللواقط المركزة كتلك التي تستعمل مجموعة من المرايا المسطحة التي تقوم جميعها بعكس أشعة الشمس على نقطة بؤرية الشكل (2–4– d) أو التي تتخذ شكل نصف كرة أو نصف أسطوانة الشكل (2–4– c) . وتختلف نسبة التركيز من لاقط إلى آخر وتختلف تبعا لذلك درجة الحرارة التي يمكن الحصول عليها في اللواقط المختلفة.

من سلبيات هذه اللواقط هي الحاجة المستمرة على تدويرها لمتابعة حركة الشمس لأن بقاء اللاقط ثابتاً أثناء حركة الشمس سوف يؤدي إلى انحراف منطقة تركيز الإشعاع الشمسي عن منطقة توضع الأنبوب الحاوي على المائع الحراري.

أما إيجابية هذا النوع من اللواقط، فهي إمكانية الحصول على درجات حرارة تصل إلى عدة مئات من الدرجات مما يمكن من استخدامه في صهر المعادن، بالإضافة إلى المردود العالي الذي يمكن أن يصل إلى 80%.

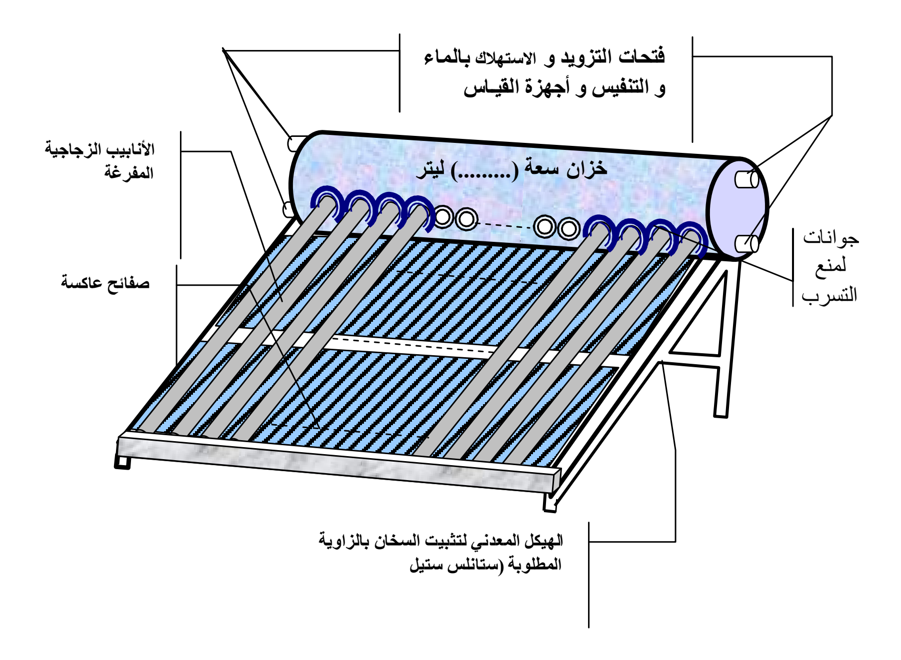
تستخدم هذه اللواقط في المناطق أو البلدان ذات المناخ الشمسي مع سماء صافية، حيث تستفيد هذه اللواقط من الإشعاع الشمسي المباشر فقط ولا يمكن الاستفادة من الإشعاع الشمسي المبعثر.

3-1-2 اللواقط ذات الأنابيب المفرغة (Vacuum Tube Solar Collectors):

و هي أحدث أنواع اللواقط الشمسية الشكل (2–5) تصل درجة الحرارة بها إلى $150\ ^oC$. يتم نقل الحرارة من السطح الماص للحرارة إلى المياه إما عن طريق الأنابيب الحرارية Heat Pipes أو عن طريق التلامس مع المياه Thermo siphon و يعتبر الجيل الجديد من اللواقط الشمسية (الأنابيب الزجاجية المفرغة) ذات المردود العالي حلاً لمشكلاتنا الاقتصادية و البيئية.

تتمتع تكنولوجيا الأنابيب الزجاجية المفرغة بمزايا كثيرة و فعالية عالية من حيث المادة المستخدمة كسطح لاقط و تصميم يحدد مجال عازل بين السطح و حرارة الجو بحيث لا يسمح بأي ضياع للطاقة، و نتيجة لذلك تتم الاستفادة العظمى من الطاقة الشمسية.

لقد أثبتت تكنولوجيا الأنابيب المفرغة فعاليتها ضمن ظروف مناخية باردة (شتاءً) ، لذلك في السنوات الأخيرة بنيت عشرات المصانع في الدول الأوربية والآسيوية لصناعة هذه التكنولوجيا المتطورة من اللواقط الشمسية.



الشكل (2−5) يمثل النموذج لسخان شمسي ذو أنابيب مفرغة

وتتألف أجزاء اللاقط الشمسي ذي الأنابيب المفرغة مما يلي:

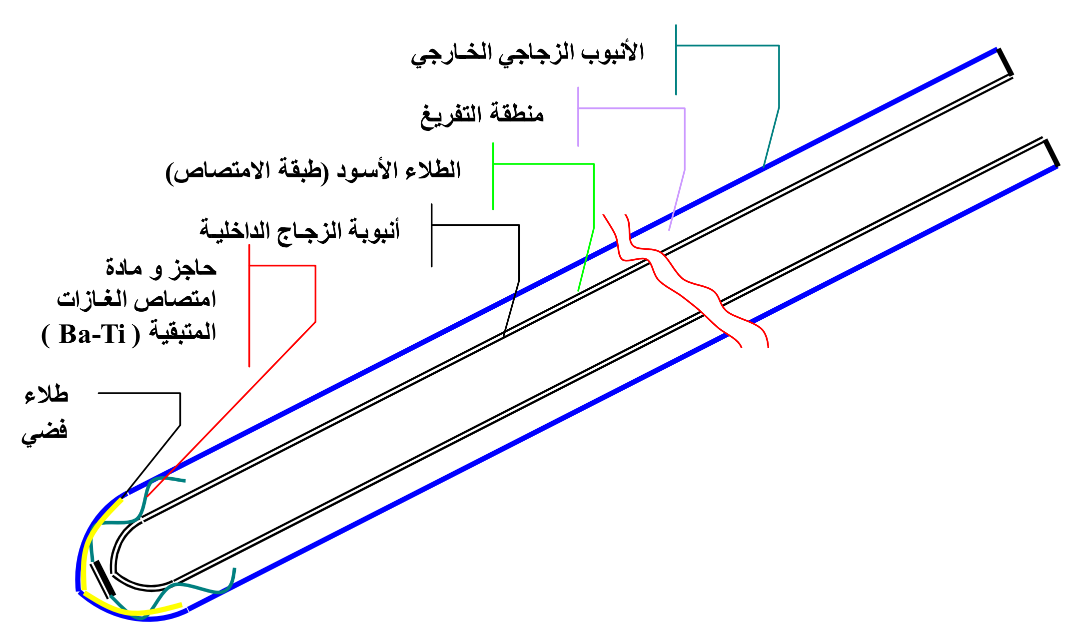
1. الأنابيب المفرغة.
2. الخزان الحراري.
3. الهيكل المعدني لتثبيت السخان بالزاوية المطلوبة وهو مطلي بمادة مقاومة للصدأ.
4. جوانات لمنع التسرب و فتحات التزويد و الاستهلاك بالماء وفتحات التنفيس و أجهزة القياس.

2−1−3−1 الأنابيب المفرغة:

هي الأنابيب التي تمتص الأشعة الشمسية و تحولها إلى حرارة لاستخدامها في تسخين الماء، إما بشكل مباشر (السيفون الحراري) أو بشكل غير مباشر (الأنابيب الحرارية).

اكتشفت هذه الأنابيب في ألمانيا أولا ثم انتشرت إلى كندا و استراليا و المملكة المتحدة و الصين و بقية دول العالم تباعا .

يوجد عدة نماذج من الأنابيب المفرغة تستخدم في مجالات عدة لتسخين المياه، الأكثر شيوعا و استعمالا هي الأنابيب الزجاجية المزدوجة، هذا النموذج يختار عادة لسهولة استخدامه و كلفته المنخفضة (جهاز عملي سهل الاستخدام) و المردود العالي انظر الشكل رقم (2−6).

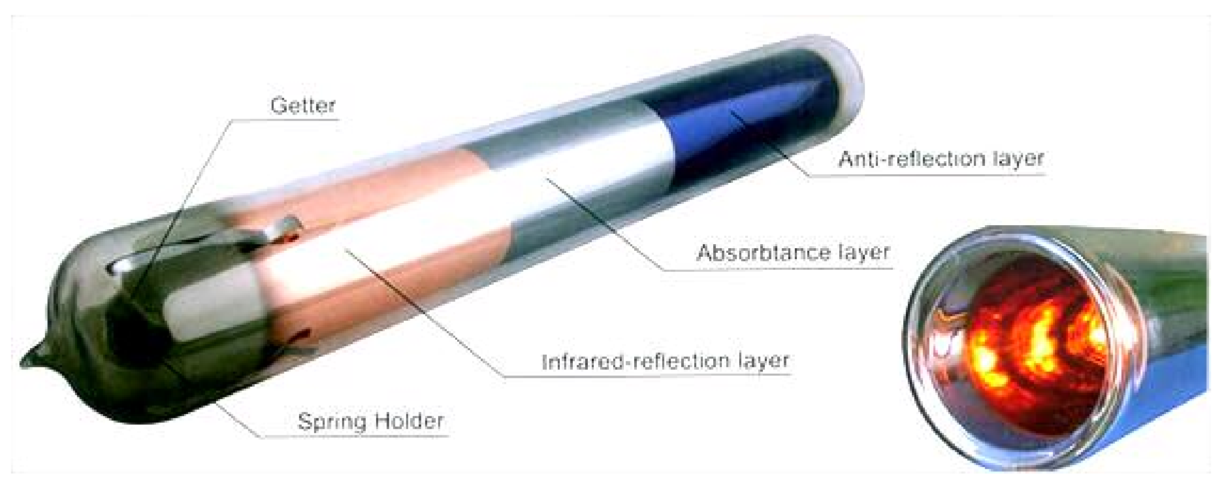


الشكل(2−6) بين مكونات أنبوب زجاجي مفرغ

- كل أنبوب يتألف من أنبوبين مصنوعين من الزجاج النقي الصافي جدا مع البورون . الأنبوب الخارجي شفاف يسمح لأشعة الشمس و الضوء باختراقها بسهولة بنسبة انعكاس منخفضة جداً، و ذلك لكونها أسطوانية الشكل، و بالتالي فإن أشعة الشمس تسقط عمودية في جميع الأوقات.

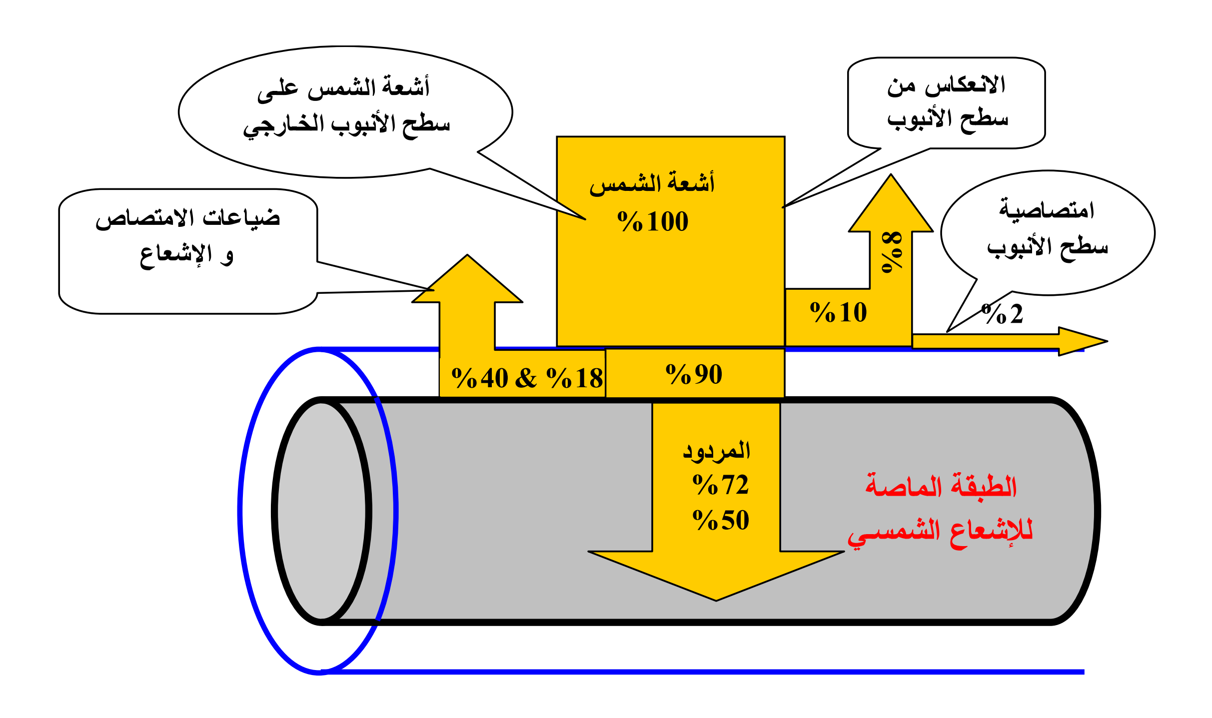
- الطبقة الداخلية في بعض الأنابيب مطلية الكتروستاتيكيا بثلاث طبقات متتالية الشكل(2−7) :

- الطبقة الأولى: طبقة معدنية عملها منع انعكاس الأشعة تحت الحمراء.
- الطبقة الثانية : طبقة من فلم كربوني عملها امتصاص أشعة الشمس.
- الطبقة الثالثة : طبقة بورسلانية تمنع انعكاس الأشعة ضمن المجال الطيفي للأشعة .



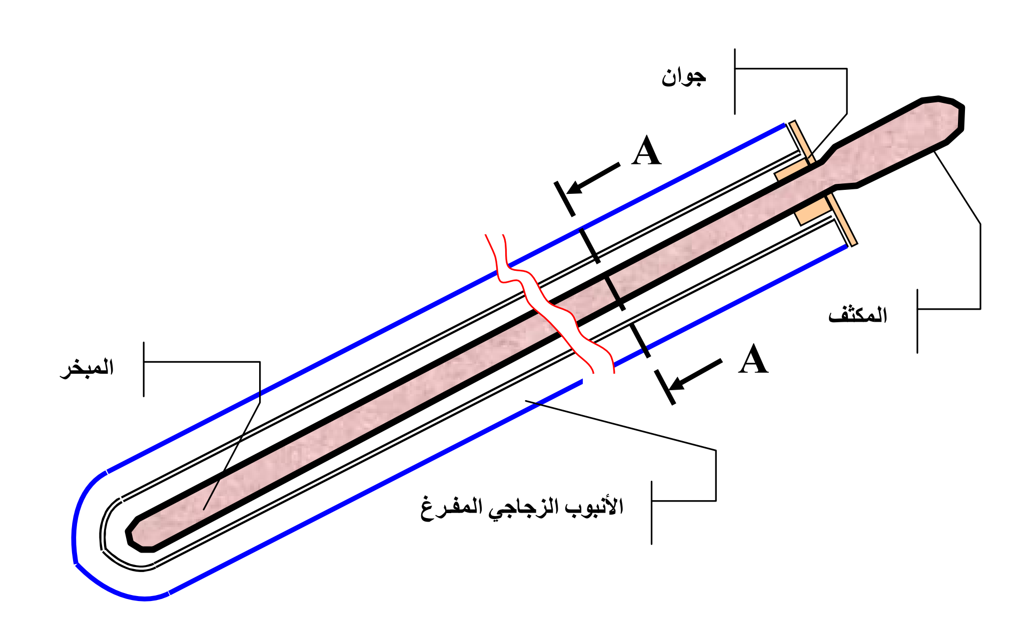
الشكل (2−7) يبين الطبقات المكونة للطبقة الداخلية للأنبوب المفرغ

ويبين الشكل (2-8-A) مخطط الطاقة للأنبوب الزجاجي الشمسي المفرغ من الهواء[7]

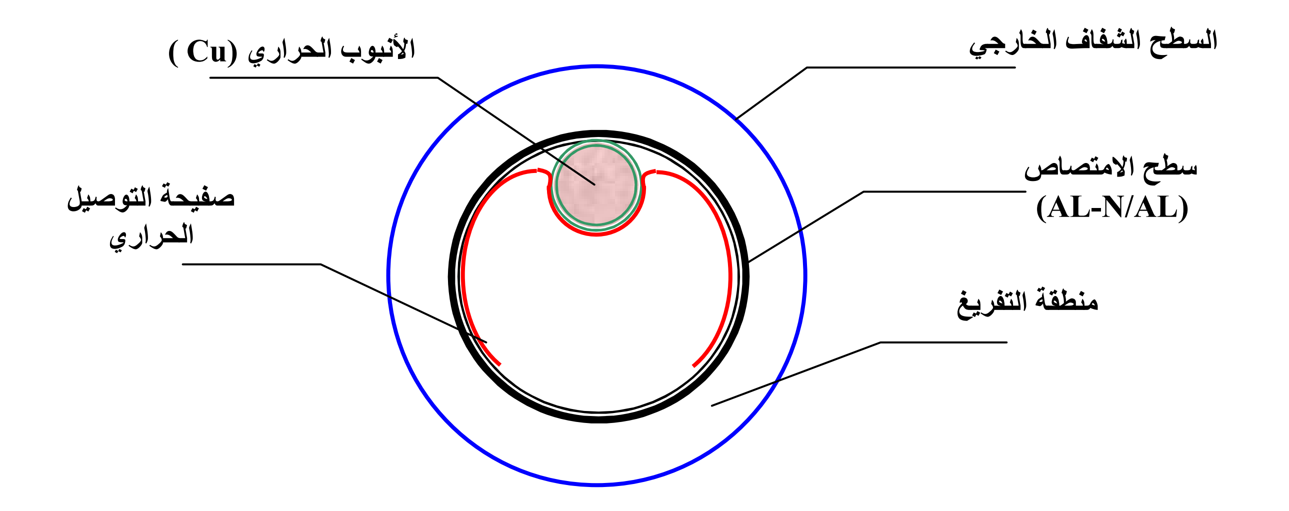


الشكل (A-8-2) مخطط الطاقة للأنبوب الزجاجي الشمسي المفرغ من الهواء[7]

وهناك نوع آخر هو الأنابيب الزجاجية المزدوجة ذات الناقل النحاسي الشكل (B−8−2) والشكل (C − 8−2) يبين مقطعا في هذا الأنبوب.



الشكل (B−8−2) مكونات الأنبوب الزجاجي المفرغ التلامس غير مباشر
بين الأنبوب الزجاجي و ماء التسخين



الشكل (C-8-2) يمثل مقطع عرضي للأنبوب الزجاجي المفرغ ذو الناقل النحاسي

وتصنع الأنابيب الزجاجية المفرغة حاليا بالقياسات المبينة أدناه في الجدول (2-1) :

الجدول (2-1)يعطي الأبعاد الهندسية للأنابيب الزجاجية المفرغة [7]

موديل الأنبوب	طول الأنبوب mm	قطره الخارجي mm	قطره الداخلي mm	سمك الزجاج mm
1200/47	1200	47	37	1.6
1500/47	1500	47	37	1.6
1500/58	1500	58	47	1.6
1800/58	1800	58	47	1.6

عادة يتم تحديد سعة الخزان الحراري اعتماداً على نوع الأنبوب المستخدم وفق الجدول (2-2):

الجدول (2-2) يعطي سعة الخزان الحراري اعتماداً على نوع الأنبوب ودرجة حرارة التشغيل [8]

موديل الأنبوب	درجة الحرارة ^{o}C	استطاعة الأنبوب liter
1200/47	60	6.5
1500/47	60	8
1500/58	60	8.25
1800/58	60	10

2-1-3-2 مزايا عناصر و مكونات اللواقط الشمسية ذات الأنابيب المفرغة:

1. الزجاج مصنوع من Borosilicate glass (سيليكات البورون) سماكة 1.6 mm .
2. الباريوم Ba داخل الأنبوب يقوم بامتصاص الغازات المتبقية و تأمين الخلاء $P<5*10^{-3}$ Bar .
3. يمكن استخدام هذا النظام ليس فقط من أجل منزل بل حتى من الأنظمة الشمسية الكبيرة.
4. يؤمن هذا النظام شتاءاً درجات الحرارة من 40 إلى 55 ^{o}C بينما تصل درجات الحرارة في بقية الفصول إلى درجات أعلى .

5. يمكن إضافة جهاز مايكرو كمبيوتر صغير للتحكم في النظام من المنزل.
6. تصنيع الزجاج من خلائط شبه معدنية(البوروسليكات المقسى) تكسبه قوة كبيرة تحمل كتلاً من البرد بقطر 25 mm.
7. كامل الجسم المعدني للجهاز يصنع من الفولاذ الذي لا يصدأ.
8. العواكس مصنوعة من الستانلس ستيل مع الألمنيوم المعالج بالأكسجين ذات عاكسية عالية للأشعة لكي تحيط أشعة الشمس بكامل الأنبوب الزجاجي.
9. الجوانات مصنوعة من السليكون الصحي المقاوم للعوامل الجوية و الحرارة.
10. الأنبوب النحاسي (أنبوب الحرارة) يتيح التسخين اللحظي لدرجات حرارة تصل إلى $150\ ^oC$ خلال فترة و جيزة .
11. اختصار الحمولات و الأحجام على الأسطح واستبدالها بمنظر لائق و جميل.
12. الأنبوب الداخلي مطلي مغناطيسيا بفيلم كربوني ذي تركيب متطور(Al – N) قادر على امتصاص الأشعة بشكل كبير حتى الأشعة المبددة (92%<) و يتمتع بنسبة انعكاس منخفضة (8%>) بحدود استقرار حراري أكبر من 200 إلى $330\ ^oC$.
13. تمتص الحرارة ابتداء من الأشعة تحت الحمراء.
14. العمر الافتراضي للجهاز 25 عاما.
15. مقاوم التكلس.
16. قطع الغيار متوفرة و تباع بشكل مستقل.
17. يعمل في درجات حرارة منخفضة تصل إلى $-7\ ^oC$.
18. سهولة الفك والتجميع (تتم عملية الفك والتجميع خلال نصف ساعة).

2-1-3-3 سلبيات هذه اللواقط :

من أهم سلبيات تكنولوجيا الأنابيب الزجاجية المفرغة أنها تحتاج إلى مهارة عالية في التركيب و التوصيلات ودقة في اختيار نوع النظام و الاستثمار (الدارة المفتوحة أو الدارة المغلقة ، و نوع الضغط التشغيل .)

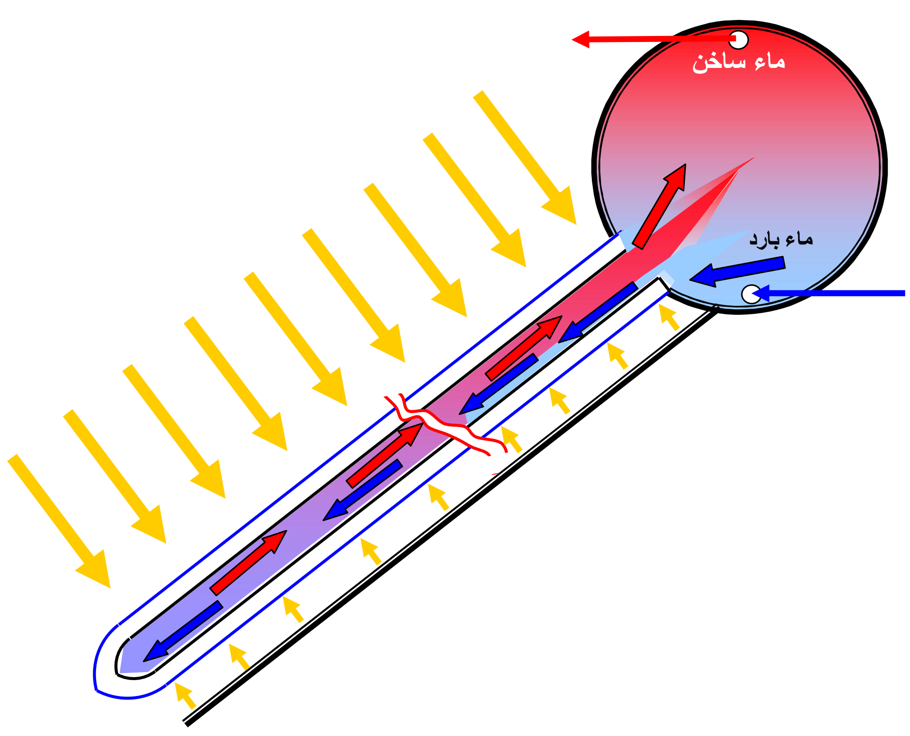
2-1-3-4 مبدأ عمل السخان الشمسي ذات الأنابيب المفرغة (تحويل الأشعة إلى حرارة):

يمكن تصنيف مبدأ عمل السخانات الشمسية ذات الأنابيب المفرغة وفق عملية نقل الحرارة على نوعين:

أ- **نقل الحرارة إلى الماء مباشرة عن طريق السيفون الحراري Thermo siphon :**

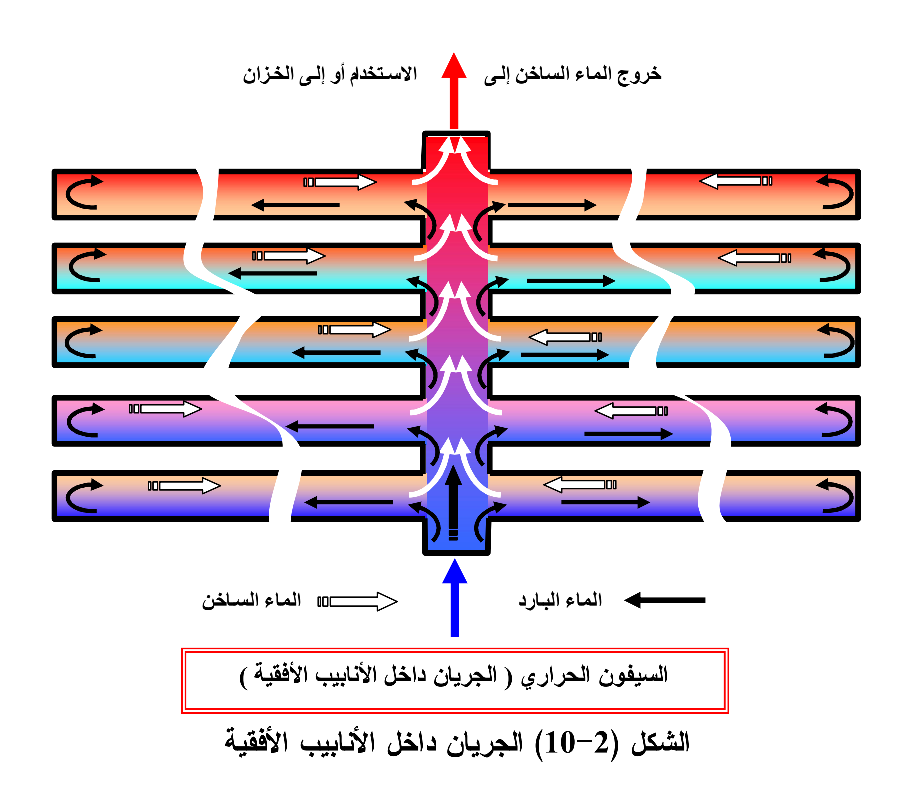
تعتمد هذه الطريقة على أن الأنبوب المفرغ يكون متصلاً مع خزان حراري يدخل منه الماء البارد إلى الأنبوب، حيث يسخن و يرتفع بشكل آلي إلى الأعلى بمبدأ الحمل الحراري، كما هو موضح بالشكل

رقم (2-9) و يتم تثبيت الأنابيب المفرغة بالخزان الحراري عن طريق جوان من السيليكون الحراري الخاص ليكون شكل السخان كما هو موضح بالشكل رقم (2-5).



الشكل (2-9) الجريان و نقل الحرارة إلى الماء مباشرة عن طريق السيفون الحراري
Thermo siphon الأنابيب الشاقولية

يمكن لهذه الأنابيب أن تكون شاقولية، و يمكن لها أن توضع بشكل أفقي كما هو موضح بالشكل رقم (2-10)



الشكل (2-10) الجريان داخل الأنابيب الأفقية

و من مزايا هذا النوع من السخانات :

1- رخص الثمن لعدم الحاجة إلى الأنابيب الحرارية و مجمعات خاصة .

2- الحجم الصغير و عدم الحاجة للمضخات و السخانات الحرارية المنفصلة .

و من عيوب هذه الأنظمة :

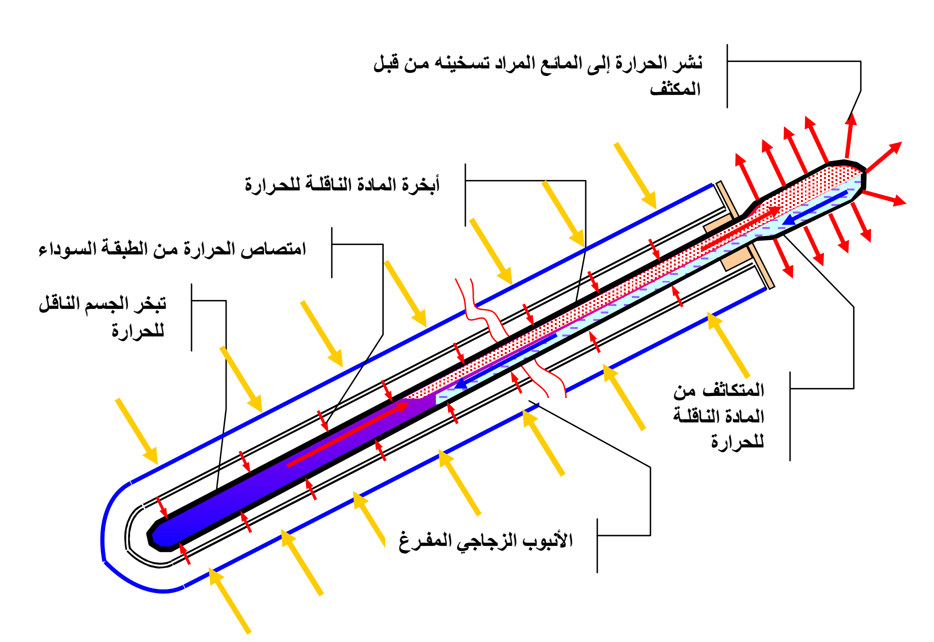
1- لا تتحمل مياه ذات ضغط أعلى من 0.5 Bar و بالتالي تستخدم هذه الأنظمة من السخانات في الحالات التي يتم تزويد المياه بها للمنزل عبر الانسياب من خزانات توضع فوقها .

2- في حالات المياه المضغوطة يجب استخدام السخانات المزودة بمبادل حراري والمكون من ملف نحاسي ذي مساحة عالية Coil فتسخن المياه المضغوطة بسحب الحرارة من الخزان الحراري الذي يكون الضغط داخله أقل من 0.5 Bar، و يمكن للمياه المضغوطة داخل الملف أن تصل إلى 8 Bar .

ب – نقل الحرارة بواسطة الأنابيب الحرارية Heat Pipes :

مبدأ عمل الأنبوب الحراري:

يعمل هذا النوع من اللواقط نتيجة لتبخير و تكثيف الوسيط العامل داخل الأنابيب الحرارية، فيقوم بنقل الحرارة من منطقة التبخير (المعرضة للأشعة الشمسية) إلى منطقة التكثيف(مرور ماء بارد حول هذه المنطقة) يوضح الشكل رقم (2-11) مبدأ عمل اللاقط الشمسي العامل على مبدأ الأنبوب الحراري



الشكل (2-11) مبدأ عمل اللاقط الشمسي العامل على مبدأ الأنبوب الحراري

عندما تتعرض حالة التوازن للوسيط العامل داخل الأنبوب النحاسي إلى اضطراب، و ليكن تسخين أحد أطرافه (منطقة التبخير) وتبريد الطرف الآخر (منطقة التكثيف) فإن ذلك يؤدي إلى تبخير الوسيط العامل نتيجة لكسب كمية من الحرارة في منطقة التبخير ، ينتقل البخار نتيجة لفرق التركيز من منطقة

التبخير إلى منطقة التكاثف و يطرح كمية من الحرارة في تلك المنطقة، و يتكاثف و يعود تحت تأثير ثقله إلى منطقة التبخير من جديد ، تؤثر شروط التشغيل و الأبعاد الهندسية على نوعية الوسيط العامل وكمية التعبئة، حيث إنه ينصح باستخدام الفريونات في مجال درجات الحرارة $60\ ^oC$ و الماء في المجال $100-140\ ^oC$ و النشادر في المجال $0\ -90\ ^oC$ [7].

من مزايا استخدام الأنبوب الحراري :

1- تأمين فعالية عالية لنقل الحرارة بسرعة تصل إلى 30000 ضعف سرعة توصيل الحرارة للفضة أو النحاس.

2- سرعة امتصاص الحرارة من الأنبوب المفرغ .

3- يمكن استخدام مياه مضغوطة لتصل درجة حرارتها $150\ ^oC$.

4- يمكن أن ينقل الحرارة مع فارق بسيط في درجات الحرارة بين المنبع و المأخذ.

5- ينقل الحرارة باتجاه واحد .

حاليا تستخدم معظم الأنابيب الحرارية بداخله كمية قليلة من الماء النقي مع بعض الإضافات الخاصة، تصل نسبة الماء النقي إلى 9% من حجم الأنبوب، و يفرغ الضغط داخل الأنبوب بشكل جزئي 0.0424 Bar، ليجعل الماء يغلي عند $30\ ^oC$ [7].

2-2 مردود اللاقط الشمسي :

يحسب مردود اللاقط الشمسي بالعلاقة التالية [9]:

$$\eta(x) = \eta_0 - a_1.(x) - a_2.G.(x)^2 \qquad (1-2)$$

حيث

$$x = (t_m - t_a)/G$$

t_m هي درجة حرارة الماء الوسطية .

t_a هي درجة حرارة الهواء المحيط.

$G\ \ (W/m^2)$ هي متوسط شدة الإشعاع الشمسي في الفترة المدروسة.

حيث :

η_o : المردود النظري

a_1 : معامل فقد الحرارة الأول الخطي

a_2 : معامل فقد الحرارة من الدرجة الثانية

وتختلف قيم هذه الثوابت تبعاً لنوع اللاقط الشمسي المستخدم (أنبوبي – مسطح عار – مسطح مغطى بالزجاج) وتكون هذه القيم [8] وذلك من أجل لاقط شمسي ذو أنابيب مفرغة:

$\eta_o = 0,706912$

$a_1 = 3,06225 \ W/(m^2K)$

$a_2 = 0,0172086 \ W/(m^2K^2)$

ولكن هذا المردود محسوب بفرض أن اللاقط مواجه تماماً للإشعاع الشمسي ولذلك ندخل معامل الميلان الزاوي K على العلاقة السابقة وتصبح على الشكل التالي :

$$\eta(x)=K.\eta_{(O)}-a_1.G.(x)-a_2.G.(x)^2 \quad (1\text{-}2)$$

ومعامل الميلان الزاوي الكلي K ناتج عن الميلان الطولي $K_{\theta L}$ والميلان العرضي $K_{\theta T}$ ويحسب بالعلاقة التالية :

$$K=K_{\theta T}.K_{\theta L} \quad \mathbf{(2\text{-}2)}$$

وتعطى قيم المعاملات وفق الجدول التالي (2–3) [8]:

الجدول (2–3) يبين قيم معاملات الميل العرضية والطولية كتابع لزوايا الميل

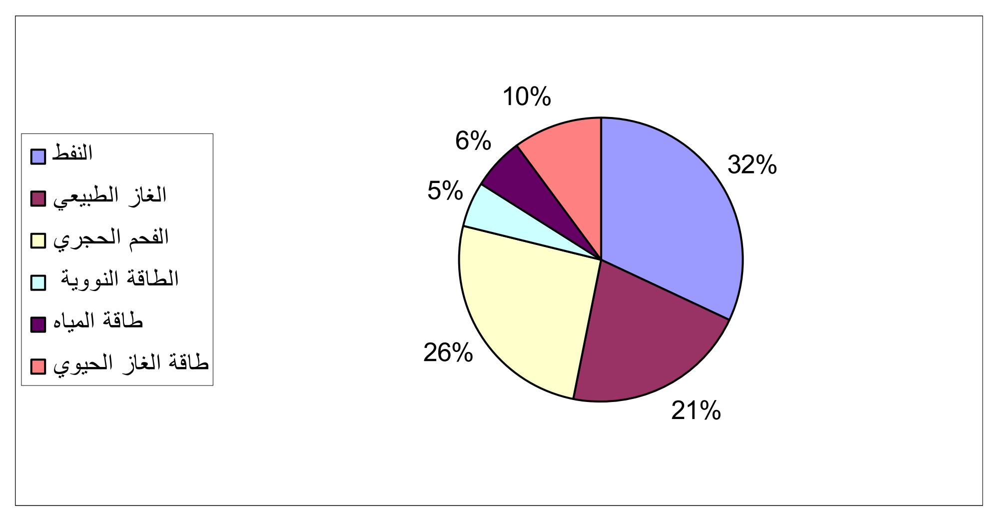
الزاوية	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
$K_{\theta L}$	1	1	0,99	0,97	0,95	0,93	0,82	0,69	0,45	0
$K_{\theta T}$	1	1,02	1,08	1,18	1,38	1,41	1,33	1,22	0,9	0

الفصل الثالث

طرق إنتاج الغاز الحيوي والعوامل المؤثرة فيه

3-1 الاحتياجات الأساسية للطاقة العالمية والغاز الحيوي :

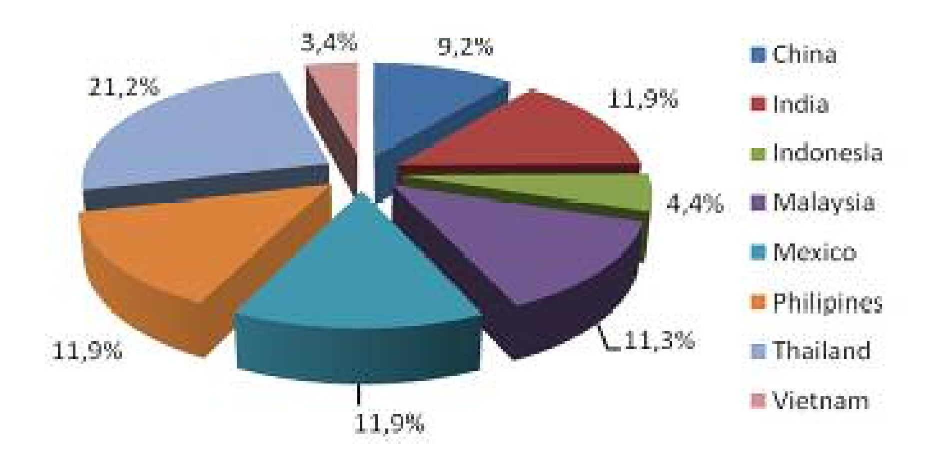
بلغت المتطلبات العالمية الأساسية للطاقة ضمن آخر إحصائيات 2008 525EJ ويبلغ ما تؤمنه الطاقات المتجددة من هذه الطاقة حوالي 16% من مجمل الاحتياجات العالمية ، وتبلغ نسبة الغاز الحيوي من هذه الطاقة 10% من مجمل هذه الطاقة، ويبين الشكل (3-1) المتطلبات الأساسية للطاقة في العالم ومساهمة كل مصدر بتأمينها [6] .



(3-1) المتطلبات الأساسية للطاقة في العالم ومساهمة كل مصدر بتأمينها

ويتوقع تزايد الطلب على الطاقة خلال العقود القادمة نتيجة الزيادة في عدد سكان العالم، حيث يتوقع أن يبلغ عدد السكان عام 2050 إلى ما يقارب 9 مليار نسمة بحيث يتوقع وصول المتطلبات إلى ما يقارب 800 EJ.

ويتمركز العدد الأكبر من مشاريع الغاز الحيوي في خمس بلدان هي تايلاند والهند والصين وماليزيا والفلبين ، كما أن 85% من مجمل مشاريع الغاز الحيوي في العالم حسب إحصائيات 2009 تتمركز في ثمانية بلدان رئيسة، كما هو مبين بالشكل (3-2) [10] ،بينما ماتزال هذه التقنية في سوريا في بداياتها.



الشكل(3-2) مشاريع الغاز الحيوي في ثمانية بلدان رئيسة

2-3 تقنية الغاز الحيوي :

إن تقنية إنتاج الغاز الحيوي من المخلفات هي تقنية بسيطة نسبياً وملائمة لظروف الريف في معظم الحالات، ويمكن أن تلبي متطلباته الأساسية من الطاقة، كما أنها توفر سماداً عضوياً جيداً لرفع الإنتاجية الزراعية بالإضافة إلى كونها وسيلة جيدة للصرف الصحي وتحسين المستوى الصحي والاجتماعي والبيئي.

ينتج الغاز الحيوي عند تخمير المخلفات العضوية الحيوانية والبشرية والبقايا النباتية وبعض المخلفات الصناعية ومخلفات المدن بمعزل عن الهواء (بغياب الأوكسجين) وهو ما يعرف بالتخمير اللاهوائي (التخمر الأنايروبي) وذلك في أجهزة خاصة محكمة ومعزولة حرارية وتحت ظروف محددة ومجهزة بوسائل تحريك محتويات المخمر.

العديد من البكتريا متواجدة في النفايات الحيوانية , خليط أوراق الشجر مع المواد الخام الأخرى كل منها يخدم ضمن وظيفة معينة . البكتريا المتواجدة في المخمر تقوم بتحطيم جزيئات المواد الخام المعقدة باستخدام الماء و الأكسجين الموجود في هذه المواد ضمن عملية تعرف باسم الحلمهة (التميؤ) [11] .

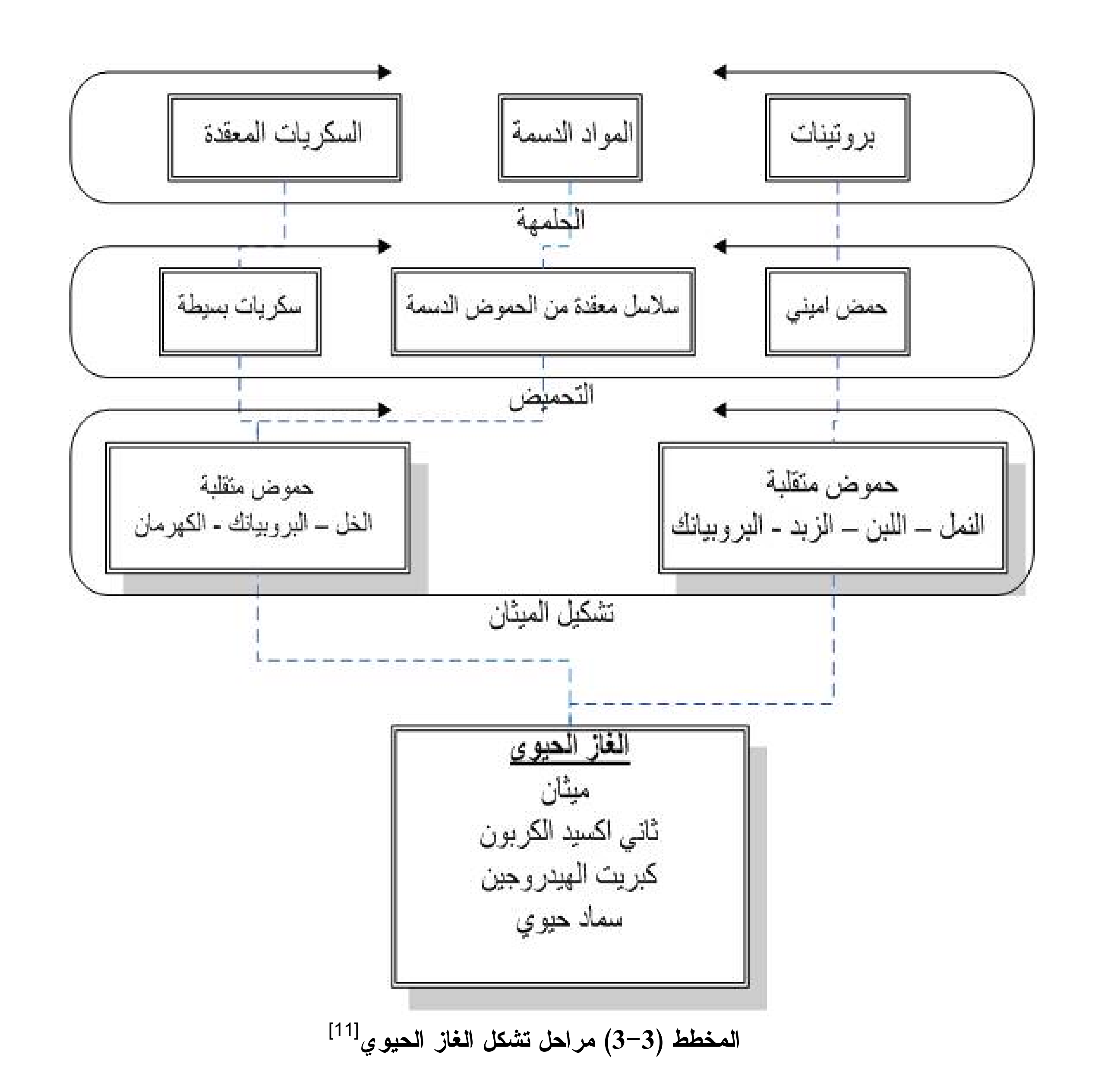
وتتبع عملية الحلمهة تشكيل الحوامض الدسمة المتقلبة، وثاني أكسيد الكربون والهيدروجين بواسطة بكتريا تسمى مصنعات الحمض، وذلك ضمن مرحلة تسمى التحميض أسيدوجينيسيس. لا تعمل هذه البكتريا إلا بغياب الأكسجين . في حال وجد بعض الأكسجين أو الهواء خلال هذه العملية فإن عملية التخمير ستتوقف ويصدر من المخمر رائحة خاصة من الحموض المتواجدة [11] .

في المرحلة الأخيرة تقوم البكتريا المشكلة للميثان بتحطيم الحموض الدسمة الموجودة في المواد الخام إلى جزيئات أبسط مثل : ثاني أكسيد الكربون , الماء والميثان ضمن مايعرف بالميثانوجينيسيس [11] . وتعمل هذه البكتريا أيضا في جو خال من الأكسجين.

يعتمد تركيب الغاز الحيوي بشدة على نوعية المواد الخام ولكن بشكل عام يتكون من 70%-50 ميثان و40%-30 ثاني أكسيد الكربون 10%-5 هيدروجين2%-1 نتروجين 0.3% بخار ماء وأثر بسيط من كبريت الهدروجين [11] ويبين الجدول (3-1) مقارنة بين الغاز الطبيعي والغاز الحيوي[12] ، كما يبين الشكل (3-3) مراحل تشكل الغاز الحيوي.

الجدول (3–1) مقارنة بين الغاز الطبيعي والغاز الحيوي

المادة أو الخاصية	الواحدة	الغاز الطبيعي	الغاز الحيوي
CH_4	VOL %	91	55-70
C_2H_6	VOL %	5.1	0
C_3H_8	VOL %	1.8	0
C_4H_{10}	VOL %	0.9	0
C_5+	VOL %	0.3	0
CO_2	VOL %	0.61	30-45
N_2	VOL %	0.32	0-2
H_2S	ppm	~1	~500
NH_3	ppm	0	~100
Net calorific value	[MJ/nm^3]	39.2	23.3
Air requirement	[nm^3/nm^3 gas]	10.4	6.22
Flame temperature*)	[^oC]	2040	1911
Density	[kg/nm^3]	0.809	1.16



المخطط (3–3) مراحل تشكل الغاز الحيوي[11]

3-3 أهم مزايا التخمير اللاهوائي للمخلفات العضوية:

إن أهم ما يميز التخمر اللاهوائي :

- إنتاج غاز حيوي نظيف.
- إنتاج مادة عضوية مختمرة عالية الجودة، عديمة الرائحة، يمكن استخدامها كسماد عضوي جيد حيث يرتفع معامل الاستفادة من عناصره المسمدة بعد التخمير.
- القضاء على جميع البذور الموجودة في الروث، نتيجة للتخمير، وبالتالي رفع قيمة السماد العضوي الناتج
- القضاء على معظم الكائنات الممرضة والطفيليات وبالأخص الإسكارس.
- عدم انجذاب الذباب للمادة المختمرة يقلل احتمالات العدوى، في حالة تبقى بعض الكائنات الممرضة في المخلفات المعالجة، حيث إن الروث المهضوم جيدا عديم الرائحة ولا يجذب الذباب والحشرات مما يحسن الظروف الصحية بدرجة كبيرة.
- إن خروج غاز الميثان وغاز ثاني أوكسيد الكربون بصورة حرة إلى الغلاف الجوي جراء عمليات التحلل الهوائي يسبب زيادة تأثير ظاهرة البيت الزجاجي، فتأثير غاز الميثان يعادل /21/ مرة تأثير غاز ثاني أوكسيد الكربون.
- الروث المهضوم (السماد العضوي) له تركيبة متجانسة ومتوازنة يسهل استهلاكه على النباتات.

3-4 العوامل المؤثرة على إنتاج الغاز الحيوي:

تتوفر عدة عوامل أساسية تحكم إنتاج هذا الغاز أهمها درجة الحرارة، ودرجة الحموضة، ونسبة الكربون إلى النيتروجين، وتركيز المادة الصلبة، وزمن البقاء، ومعدلات التحميل والمواد السامة.

3-4-1 درجة الحرارة:

تؤثر درجة الحرارة بشكل كبير على عملية التخمير وإنتاج الغاز الحيوي، يمكن أن تصنف البكتريا حسب درجة الحرارة التي تعمل منها إلى :

1- بكتريا أليفة البرودة Psychrophilic أفضل درجة الحرارة لكي تعمل بشكل جيد هي من 10-20 ^{o}C.

2- بكتريا أليفة الحرارة المعتدلة Mesophilic أفضل درجة الحرارة لكي تعمل بشكل جيد هي من 20-40 ^{o}C.

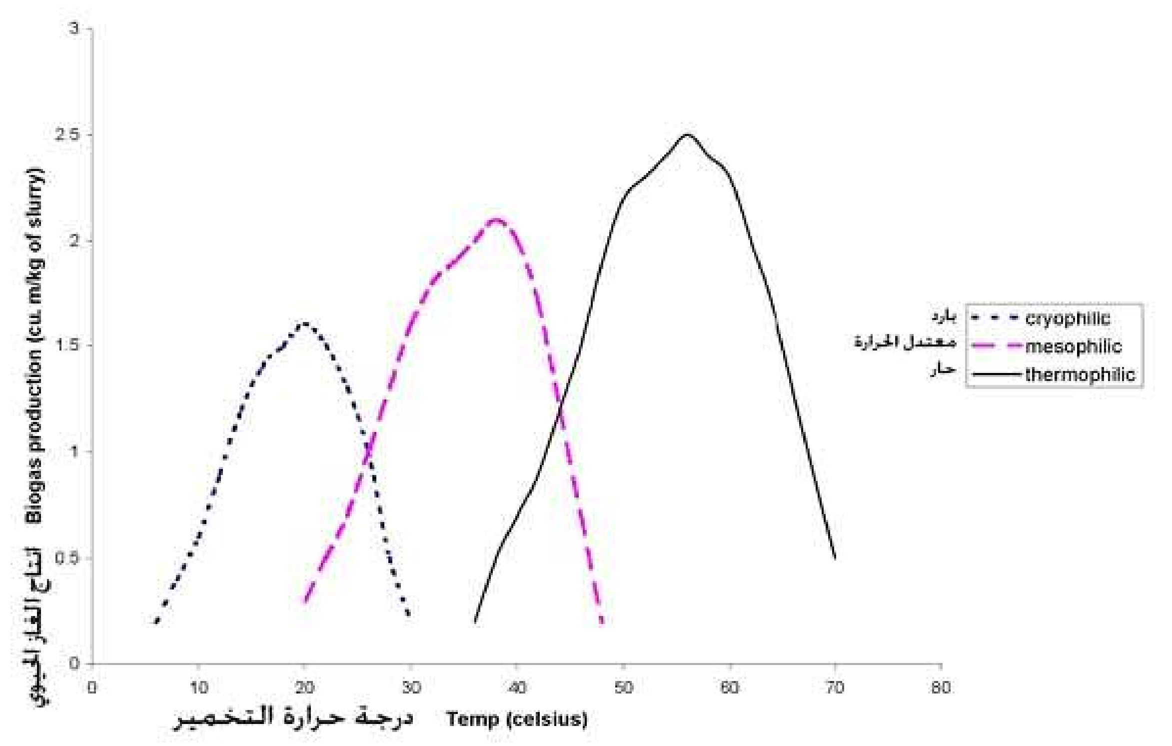
3- بكتريا أليفة الحرارة الحارة Thermophilic أفضل درجة الحرارة لكي تعمل بشكل جيد هي من 40-60 ^{o}C.

بينما يكون التخمير في المخمرات اللاهوائية ضمن الدرجات الحارة فعالاً جداً ، يمكن أن تعمل المخمرات اللاهوائية في الشروط المدارية بشكل كاف في الشروط المعتدلة الحرارة.

معدل إنتاج الغاز وهو كمية الغاز المنتجة من كل واحد كيلوغرام من المادة العضوية، وهو عادة يزداد مع ارتفاع درجة الحرارة وهو عادة يتضاعف كلما ارتفعت درجة الحرارة 10 درجات، وذلك ضمن المجال من $15-35\ ^{o}C$ [13].

تعتمد درجة حساسية البكتريا على مجال تغير درجة الحرارة، حيث إن التغير المفاجئ في درجة الحرارة بمقدار $\pm 2\ ^{o}C$ في الساعة ضمن درجات الحرارة الباردة، $\pm 1\ ^{o}C$ في الساعة ضمن درجات الحرارة المعتدلة، $\pm 0.5\ ^{o}C$ في الساعة ضمن درجة الحرارة الحارة على التوالي تعتبر غير مثبطة [14]. التغير المفاجئ لدرجة الحرارة لأكثر من 5 درجات مئوية يومياً يمكن أن يسبب توقفاً مؤقتاً للمخمر عن العمل، وذلك نتيجة تراكم الحموض المتبدلة، وقد يؤدي أحيانا لتوقف عمل المخمر.

تعتبر هذه الظاهرة أقل في المخمرات الكبيرة، وذلك بسبب السعة الحرارية للمادة المختمرة داخل المخمر مما يؤدي إلى انخفاض درجة حرارة المخمر بشكل بطيء [13] . الشكل رقم (3-4) يبين العلاقة بين درجات حرارة التشغيل ومعدل إنتاج الغاز لمختلف أنواع البكتريا [11].



الشكل (3-4) يبين العلاقة بين درجة حرارة التشغيل ومعدل الميثان المنتج لمختلف أنواع البكتريا

3-4-2 خواص المواد المخمرة:

أي مادة تحتوي على مواد غذائية تشتمل على الكربوهيدرات والبروتين والدهون يمكن تخميرها ضمن المخمر وعلى أي حال تعتمد نسبة وكفاءة تخمير المواد العضوية على شكلها الطبيعي والكيميائي على سبيل المثال:

1- روث الأبقار يعتبر من أسهل المواد المستخدمة في المخمرات، حيث إنه يحتوي مباشرة على الأنواع المناسبة من البكتريا كما أنه محطم بشكل كيميائي بالحموض والإنزيمات الموجودة في معي الحيوانات [15].

2- الفضلات البشرية وفضلات الخنازير والدجاج أيضاً جيدة لكنها بحاجة للتحضير مثل ترويبها بشكل سائل من أجل أن تكون صالحة للعمل في المخمر ولتدخل في عملية التخمير.

3- روث الماعز والخراف غني جداً بالمغذيات، ولكن شكله الذي يشبه البندق يجعله بحاجة للطحن الميكانيكي ليسهل حله بالماء، وبالتالي يسهل هضمه من قبل البكتريا.

4- بقايا الخضار يجب أن تطحن في البداية قبل استخدامها، ويمكن أن يتم ذلك يدوياً عن طريق التقطيع والفرم.

3-4-3 درجة الحموضة:

إن عامل الحموضة المستخدم في محطات الغاز الحيوي يقع عادة مابين 6–8 ويكون أفضل إنتاج للغاز الحيوي عندما يكون معدل الحموضة مابين 6–7 حيث تحتاج الكائنات الحية الدقيقة في التخمير اللاهوائي إلى وسط متعادل لتتمكن من العمل بكفاءة أي عند أس هيدروجيني يساوي 7 [16] لذلك عند بدء التشغيل يفضل استخدام بادئ مكون من مستحلب مختمر مسبقاً أو استخدام تركيزات منخفضة من المادة العضوية للإسراع بالوصول إلى مرحلة التوازن.

على الرغم من أن بكتيريا التحلل تحول المواد العضوية إلى أحماض، يمكن أن تعيش في ظروف حامضية أي عند أس هيدروجين قريب من 5,5 لذلك عند بدء التشغيل يفضل استخدام بادئ مكون من مستحلب مختمر مسبقاً أو استخدام تركيزات منخفضة من المادة العضوية للإسراع بالوصول إلى مرحلة التوازن.

قيمة عامل الحموضة pH أعلى من 8.5 يكون لها تأثير قاتل على البكتريا المشكلة للميثان، على أي حال في المخمرات التي بدأت بالعمل حديثاً تصبح البكتريا المشكلة للحموضة فعالة قبل البكتريا المشكلة للميثان، هذه المزاوجة تعود للحقيقة التالية بأن معدل تفاعل البكتريا المشكلة للحموضة أسرع من تفاعل البكتريا المشكلة للميثان، وهذا بشكل طبيعي يؤدي إلى تخفيض مبدئي في حموضة المادة المختمرة أقل من 7 [16].

بالإضافة لذلك البكتريا المشكلة للميثان تأخذ وقتاً للتكاثر بهدف بلوغ المعدل المطلوب للوصول لإنتاج ثابت ومستقر للميثان. من الضروري لمنع الصدمة داخل المخمرات التي تبدأ حديثاً اســتخدام بيكربونــات الصوديوم NaHCO3 والجير (أكسيد الكالسيوم CaO) أو استخدام هيدروكسيد الأمونيوم (NH_4OH) من أجل استقرار عامل الحموضة pH ضمن المجال المناسب لعمل البكتريا المشكلة للميثان [16].

فعالية البكتريا المشكلة للميثان يمكن أن تكبح عند درجة حموضة 6.6 [16–17] ودرجة حموضة أقــل من 6 يدل بشكل واضح على أن الكثير من الحموض سوف تتشكل نتيجة لوجود بعض من بكتريا الميثان. قيمة pH أقل من 5 يمكن أن يصحح بإضافة الجير أو التخفيف من تغذية المخمر [18-19]. من ناحية أخرى قيمة pH أقل من 5 سوف يقود إلى إيقاف عملية التخمير مما يتطلب تبديل كامل المادة داخل المخمر والبدء من جديد بعملية تخمير جديدة [19].

3-4-4 نسبة الكربون إلى النيتروجين:

نسبة الكربون للنتروجين C/N عامل هام في إنتاج الغاز، حيث إن البكتريا بحاجة للنتــروجين مــن أجل النمو، على أية حال إذا لم يتم التحكم بهذه النسبة بشكل صحيح يمكن أن تكبح عملية تشكيل الميثــان . النسبة الصحيحة لنسبة الكربون للنتروجين C/N للمخمرات تقع في المجال 30/1–20.

إذا كانت نسبة C/N عالية جداً سوف تعمل على كبح إنتاج الغــاز حيــث أن مــستويات منخفــضة للنتروجين سوف يؤثر على البناء الخلوي للبكتريا المشكلة للميثان اللازم لتكاثر هذه البكتريــا .المــستوى المنخفض لهذه النسبة سيخفف من فعالية إنتاج الميثان، وذلك من خلال إنتاج كمية مفرطة من الأمونيا التي ستؤدي إلى زيادة قلوية المخمر إلى ما فوق مستوى8.5 [14–16–17–20] . عندما يستخدم روث البقر أو ميــاه المجاري هذه النسبة تبقى طبيعية، وذلك بسبب طبيعة تركيب هذه المواد .

في حالة انخفضت هذه النسبة يمكن رفعها بإضافة مواد ذات نسبة C/N عالية مثل إضــافة غبــار الخشب إلى المادة المختمرة داخل المخمر، الوزن الجاف للنتروجين كنسبة من وزن المادة العضوية ونسبة N/C لبعض المواد العضوية موضحة بالجدول (3–2)[14].

الجدول (3-2)الوزن الجاف للنتروجين ونسبة C/N لبعض المواد العضوية [14]

المادة العضوية	N%	نسبة C/N
روث البقر	1.8	19.9
روث الخيل	2.3	25
روث الدجاج	6.3	7.3
نفايات المطابخ	7.1	6.72
عيدان المحاصيل	1.2	50.6
قش الأرز	0.7	51.0
قمع الذرة	1.0	49.9
غبار الخشب	0.1	500-200
أعشاب مقصوصة	2.5	15.7

3-4-5 تركيز المادة الصلبة في محلول التغذية:

يتراوح تركيز المادة الصلبة في محلول التغذية TS% (أي كمية المادة الصلبة إلى الماء) بين 8%-10 حيث تحافظ هذه النسبة على جريان مناسب، وتمنع تكون الأحماض بمعدلات أكبر من استهلاكها مما يحافظ على التوازن في عملية التبخر، ولكن قد يتم رفع نسبة المادة الصلبة في بعض عمليات التخمر المستخدمة إلى 14%-12 لتقليل المتطلبات الحرارية وتحسين الاقتصاديات، كما أن عملية التخمير الجاف للمخلفات الصلبة مثل القش والأخشاب والقمامة تتم في تركيزات مرتفعة قد تصل إلى 30%-25 ونظراً لتكون الأحماض فإنه عادة ما يضاف مواد مساعدة مثل كربونات الكالسيوم للمساعدة على التوازن.

وتختلف نسب المواد الصلبة في المخلفات الحيوانية وذلك حسب طبيعة هذه المخلفات حيث يجمع الروث ويخزن بشكل سائل أو شبه معلق أو شبه صلب أو صلب، وتكون نسب المواد الصلبة فيه .

- **الروث السائل Liquid Manure:**

هو روث سائل مخفف ذو محتوى مواد صلبة أقل من% 5.

- **روث معلق Slurry Manure:**

هو روث بشكل معلق وهو سائل مخفف يحتوي على نسبة مواد صلبة من%5 حتى 10% وهذا السائل المعلق يجمع بشكل ميكانيكي ويمكن ضخه وتخزينه خزانات وبحيرات وبرك .

- **روث شبه صلب Semi-Solid Manure:**

وهو روث شبه صلب ويحتوي نسبة مواد صلبة مابين 10 حتى 20% . هذا الروث يكشط بشكل نموذجي لا يضاف الماء لهذا الروث ويخزن هذا السماد حتى يتم نشره في الحقول المحلية.

الروث المكشوط حديثاً والذي عمره أقل من أسبوع يمكن أن يستخدم من أجل إنتاج الغاز الحيوي في كل الظروف حيث يمكن تسخينه لتعزيز النمو البكتيري.

- **الروث الصلب Solid Manure :**

وهو روث ذو نسبة مواد صلبة أكبر من 20% ويتم التعامل معه بواسطة المجارف، وهو يترك بدون ترتيب في المرعى، وهو غير مناسب لعملية إنتاج الغاز الحيوي [18].

ونظراً لاختلاف نسب المواد الصلبة يتم تمديد المواد الخام بالماء حتى نحصل على التركيز المطلوب للمادة التي سيتم تخميرها .

3-4-6 زمن بقاء المحلول في المخمر:

وهو متوسط عدد الأيام التي يقضيها المحلول داخل المخمر، والذي تحكمه عوامل كثيرة منها ظروف التشغيل مثل درجة الحرارة وطبيعة المادة العضوية المستخدمة وسهولة تخمرها ونوع المخمر المستخدم، وعادة يكون زمن البقاء حوالي 40 يوما بالنسبة لتخمر روث الماشية في الظروف العادية بدون تسخين والحد الأدنى لزمن البقاء يحدده سرعة تكاثر البكتيريا، حيث انخفاضه عن الفترة اللازمة لتكاثر البكتيريا يساعد على خروج البكتيريا وتناقصها في المخمر مما يسبب توقف أو انخفاض الغاز، أما الحد الأقصى لزمن البقاء فتحدده عوامل اقتصادية، حيث إن زيادة زمن البقاء يؤدي إلى زيادة حجم المخمر وبالتالي زيادة التكاليف.

3-4-7 المواد السامة في التغذية:

المضادات الحيوية والمبيدات والمنظفات الصناعية والمعادن الثقيلة مثل الكروم والنيكل والنحاس والزنك تعتبر مواد سامة للكائنات الحية الدقيقة التي تقوم بإنتاج الغاز الحيوي، كما أن ارتفاع تركيز الأمونيا والذي ينجم عن انخفاض نسبة الكربون إلى النيتروجين والمواد السامة مثل المواد الحيوية والمطهرات والمبيدات الحشرية ستعمل على قتل البكتريا وستوقف المخمر عن العمل. كما تملك المنظفات نفس التأثير لذلك إذا كانت الحظائر المخصصة لتزويد المخمر قد رشت بالمنظفات فمن الضروري بعد ذلك غسل الحظيرة كلياً بماء نظيف [21].

3-4-8 استخدام البادئات:

عند بداية تشغيل المخمر فإنه يفضل إضافة نسبة من مخلوط تخمير نشط، وذلك للإسراع في عملية التخمير حيث يحتوي هذا المنشط على نسب متوازية من بكتيريا الميثان وبكتيريا الحمض التي يمكنها أن تعمل مباشرة بعد إضافتها، وقد لا يحتاج الأمر إلى استعمال المنشط حيث يمكن للمخمر العمل بدونه في حالة استخدام روث الماشية، ولكن ذلك يتطلب الانتظار بضعة أيام لحين تكون ونمو عدد كاف من بكتيريا التحلل وبكتيريا الميثان.

3-4-9 التقليب داخل المخمر:

وهو من العوامل الضرورية لرفع كفاءة عملية التخمير وزيادة إنتاجية الغاز وعن طريق التقليب تتجانس مكونات المخمر وتزداد فرص التلامس بين المخلفات والبكتيريا، ويزداد نشاط بكتيريا الميثان مما يؤدي إلى ارتفاع معدلات إنتاج الغاز، كما أن التقليب يمنع تشكل طبقة الخبث فوق سطح مخلوط التخمر وتيبسها مما يعوق صعود الغاز للأعلى.

وتجدر الإشارة إلى أن عملية التغذية اليومية بالمواد الطازجة تعتبر إحدى طرق التقليب، ولذا كان من المفضل تعدد مرات التغذية اليومية لزيادة فرص التقليب، وعادة يستخدم التقليب اليدوي أو الميكانيكي أو التقليب بإعادة دورات المحلول أو الغاز.

3-5 أنواع مخمرات الغاز وطرق تصميمها:

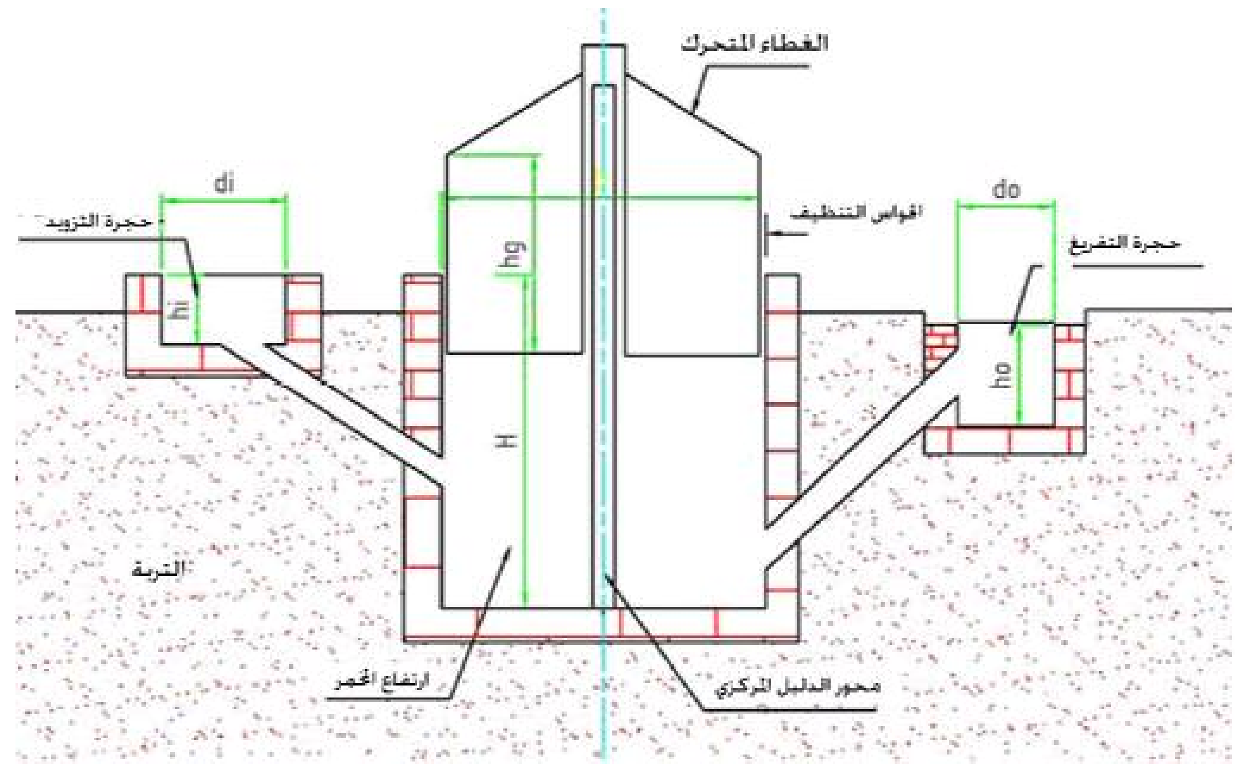
هناك أنواع مختلفة من التصاميم المستخدمة في عملية التخمير منها:

- المخمر ذو الغطاء العائم
- المخمر ذو القبة الثابتة
- المخمر ذو الكيس المرن

إن التصميم الجيد للمخمر يجب أن يكون قابلاً للتعديل بحيث يلائم متطلبات الإنتاج عند أحجام مختلفة ويلائم المواصفات والخصائص التي يتطلبها المستخدمون، وسوف نستعرض الأنواع السابقة بشكل مفصل مع تبيان مواصفات كل منها.

3-5-1 المخمر ذو الغطاء العائم:

في هذا النوع من التصميم يكون الغاز والمواد المختمرة محبوسة في حفرة أسطوانية في الأرض . إن الحفرة محاطة بالقرميد المدعوم من قبل التربة المحيطة لتضمن مقاومة البناء للضغط الهيدروليكي الناتج من المادة المختمرة. يتم تجميع الغاز ضمن غطاء أسطواني فولاذي مغلق من الأعلى يشبه الطبل، وهو عائم فوق المادة العضوية المختمرة وحرفه السفلي غاطس فيها كما هو مبين بالشكل(3-5)



الشكل (3–5) يوضح المخمر ذو الغطاء العائم

أثناء خروج الغاز من روبة المواد العضوية المختمرة يحمل معه بعض من الجزيئات الخفيفة التي تستقر في قمة الروبة لتشكل الزبد الذي يشكل حاجزاً يمنع مرور الغاز [11] .

إن مشكلة تشكل الزبد شائعة جداً وخاصة في المخمرات التي تستخدم مواد عضوية نباتية لذا من الضروري تركيب آلية تقوم بتحريك الروبة وخاصة في المخمرات الدفعية [17] ،حيث إن المواد الموجودة في المخمر تتألف من المواد المذابة، أما في نظم التغذية المستمرة للمخمر وبناءً على التجربة لن يكون هناك تشكل للزبد[14] لأن عملية التفتيت التلقائي المستمر ستعمل على منع تشكل الزبد عند كل تغذية جديدة للمخمر[17].

إن مجمع الغاز في هذا النوع يملك عادة إطار معدني صلب مثبت في القسم الداخلي السفلي يعمل هذا الإطار على تفتيت وتفريق أي زبد أو سخام متشكل ، وعند دوران هذا المجمع ونتيجة للأقواس المثبتة على سطحه الخارجي بشكل مائل يعمل أيضا على تفتيت هذا الزبد.

يحافظ مجمع الغاز على وضعه الشاقولي عن طريق أنبوب أسطواني مركزي مثبت في مركزه يسمح هذا الأنبوب للمجمع أن يتحرك صعوداً ونزولاً ويستدير حول محوره [13] .

إن سهولة حركة الغطاء باتجاه الأعلى والأسفل يحافظ على قيمة ثابتة للضغط، كما أن قدرة الغطاء على الدوران حول محوره يساعد على تفتيت أي شكل من أشكال الرغوة الموجودة على سطح المزيج في

المخمر. إن نظام المخمر ذي الغطاء العائم يندرج ضمن فئة الأنظمة المستمرة لتوليد الغـــاز ، حيــث إن الروبة في المخمر تسحب من خلال حجرة التفريغ، و يتم استبدالها بروبة جديدة من خلال حجرة التزويد.

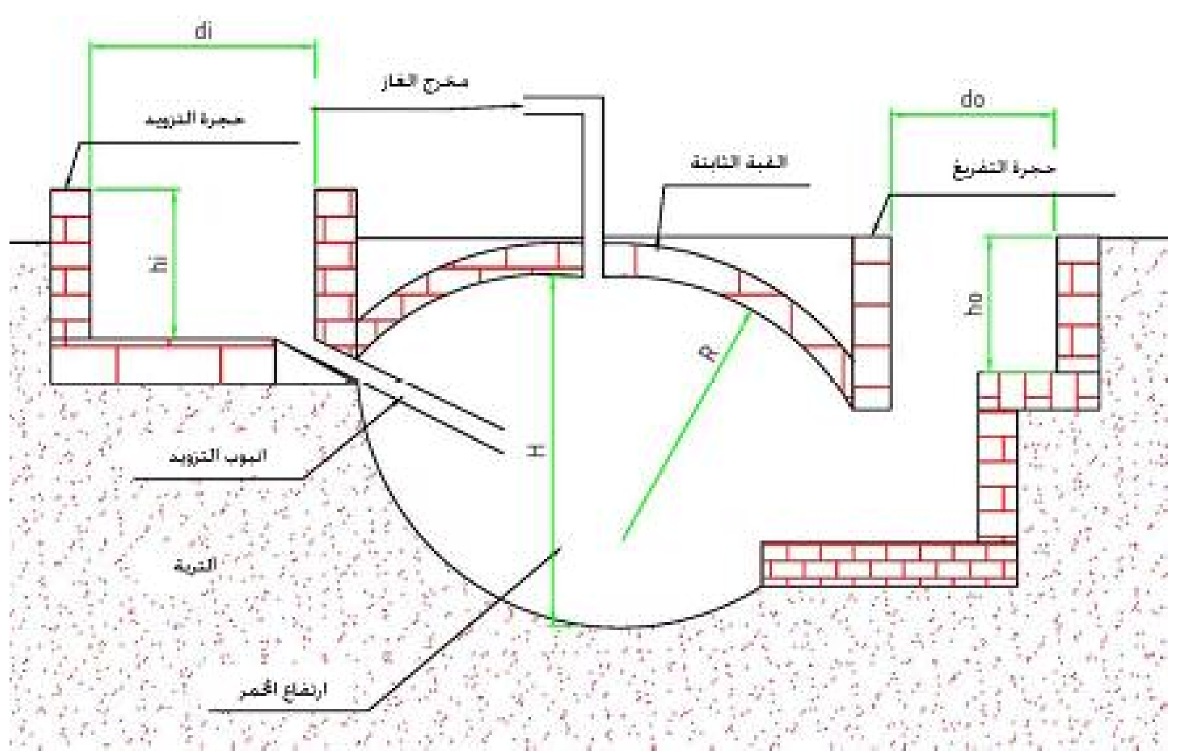
في هذا النوع من المخمرات هناك حاجة بان تكون الروبة المضافة عن طريق حجرة التزويد قــد تــم خلطها بشكل جيد وأن لا تحتوي قدر الإمكان على مواد غير عضوية مثل الرمل أو الحجارة، وذلك مــن أجل تجنب الترسبات التي تؤدي للتخفيض التدريجي لسعة للمخمر الحجمية.

وفي حال وجود كميات كبيرة من الرمل أو الحجارة المتراكمة في الجزء السفلي للمخمــر، فإنــه مــن الضروري وقف تشغيل المخمر وتفريغه من المواد المختمرة ورواسب الرمل والحجارة بشكل يدوي.

3-5-2 المخمر ذو القبة الثابتة:

في هذا النوع من التصميم يكون المخمر على شكل حفرة مصفوفة بالقرميد وسقف هذه الحفرة ثابــت مصنوع من الاسمنت، يتم وضع التربة أعلى هذا السقف من أجل المساعدة على احتواء الغاز المنتج ضمن هذه القبة. أثناء إنتاج الغاز يتم تجميعه ضمن القبة، وتتم إزاحة جزء من الروبة من خلال حجرة التفريــغ، الروبة القادمة من حجرة التزويد إلى المخمر تعمل على رفع فعالية إنتاج الغاز الحيوي .

إن الوصول إلى المخمر خلال مرحلة الإنشاء أو التنظيف يتم فقط من خلال حجرة التزويد والتفريغ وهذا ما يجعل بناء قبة الغاز صعباً أثناء التشغيل والصيانة [12] وهذا موضح بالشكل (3-6).

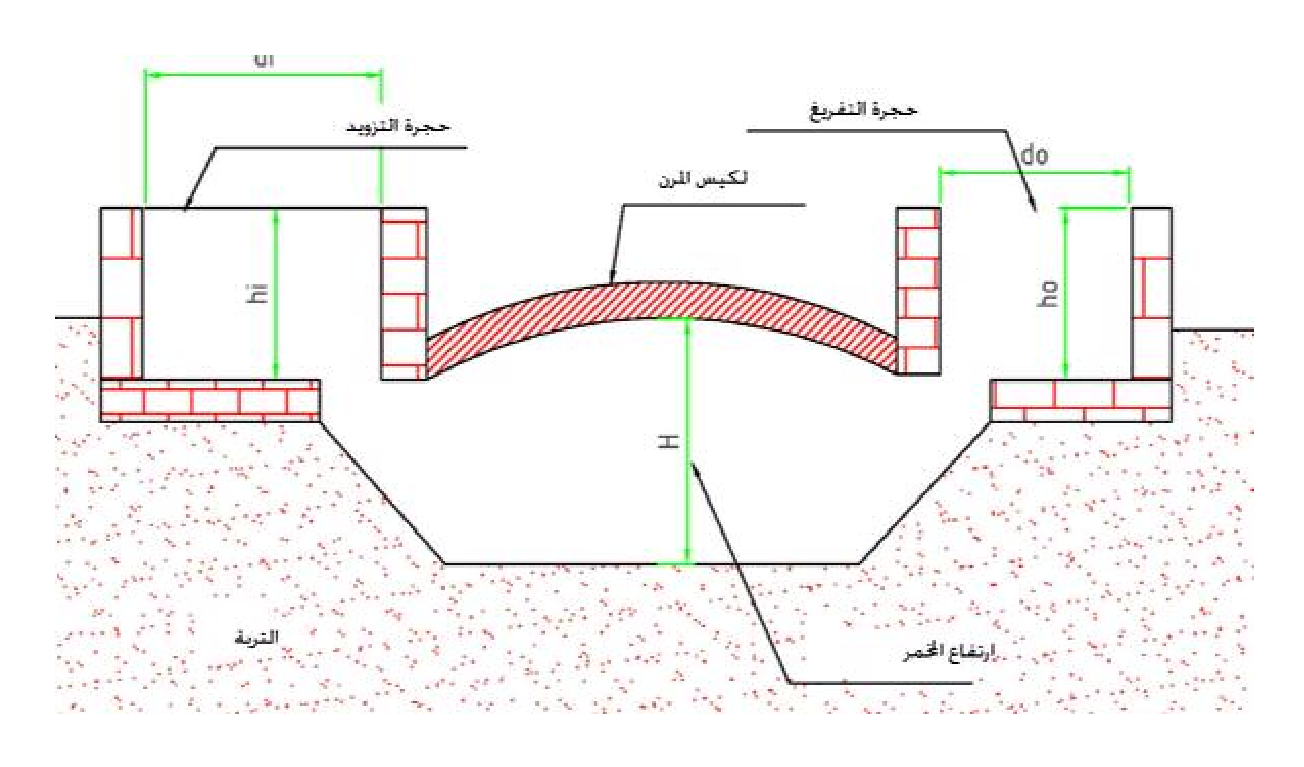


الشكل (3-6) يوضح المخمر ذو القبة الثابتة

3-5-3 المخمر ذو الكيس المرن:

يتكون النموذج من حقيبة أسطوانية طويلة مصنوعة من مواد بلاستيكية يتم وضعها في خندق، وهي مصطفة مع البناء والرمل أو الطين المضغوط . المادة المختمرة (الروبة) تملا ثلثي الحقيبة والغاز يتجمع فوقها. عندما يبدأ الغاز بالتكون يتصرف الكيس البلاستيكي مثل البالون .

حواف السقف تقام على حواف الخندق عبر مشابك أو أقطاب موجود على طول الكيس البلاستيكي. الصعوبة الأساسية في هذا النوع من التصميم هو صعوبة استغلال الغاز المنتج، ويمكن استخدام أنابيب مرنة ملحومة على الجزء العلوي لكيس جمع الغاز ولكن ليس من السهل ضمان جودة ختم الأنبوب مع الكيس بالإضافة لذلك هناك خطر الانفجار في حال وجود ضغط زائد للغاز [22].ويبين الشكل (3-7) نموذج للمخمر ذو الكيس المرن.



الشكل (3-7) يبين المخمر ذو الكيس المرن

إن النفايات السائلة المتدفقة من حجرة التفريغ مفيدة جداً في عملية التسميد، حيث إنها مصدر جيد للمواد العضوية التي تساعد في المحافظة على محتوى التربة من الدبال، وهذا بدوره يساعد على الحفاظ التربة وتحسين بنيتها .

كما أن فائدة النفايات المتدفقة تكمن في احتوائها على النتروجين القابل للذوبان وعلى المواد المغذية للنباتات التي يمكن امتصاصها من النباتات بسهولة. النتروجين الناشئ في النفايات المتدفقة يتكون بشكل

أساسي من الأمونيا المتطايرة مما يجعل من الضروري أن تصب مباشرة عند قواعد النباتات ويفضل ضخها تحت سطح التربة من أجل تخفيض الضياعات الناتجة عن التبخر [14] .

3-6 قواعد اختيار التصميم المناسب للمخمر:

من الشروط الهامة الواجب توفرها أثناء تصميم المخمر هي:

- إمكانية مقاومة التصميم لضغط الغاز بالإضافة للضغط الهيدروليكي للروبة
- تكلفة البناء.
- توفر المواد وكلفتها.
- سهولة التصميم.
- سهولة التشغيل.
- سهولة الصيانة.
- الوثوقية – إمكانية تشغيلها حسب التوقعات وبانتظام.
- شدة الغاز – إمكانية المحافظة على ضغط الغاز بدون حدوث تسرب.
- الأمان – هل هو آمن في التشغيل وهل هو آمن من ناحية الانفجار.

3-7 متطلبات اختيار الموقع المناسب للمخمر المنزلي:

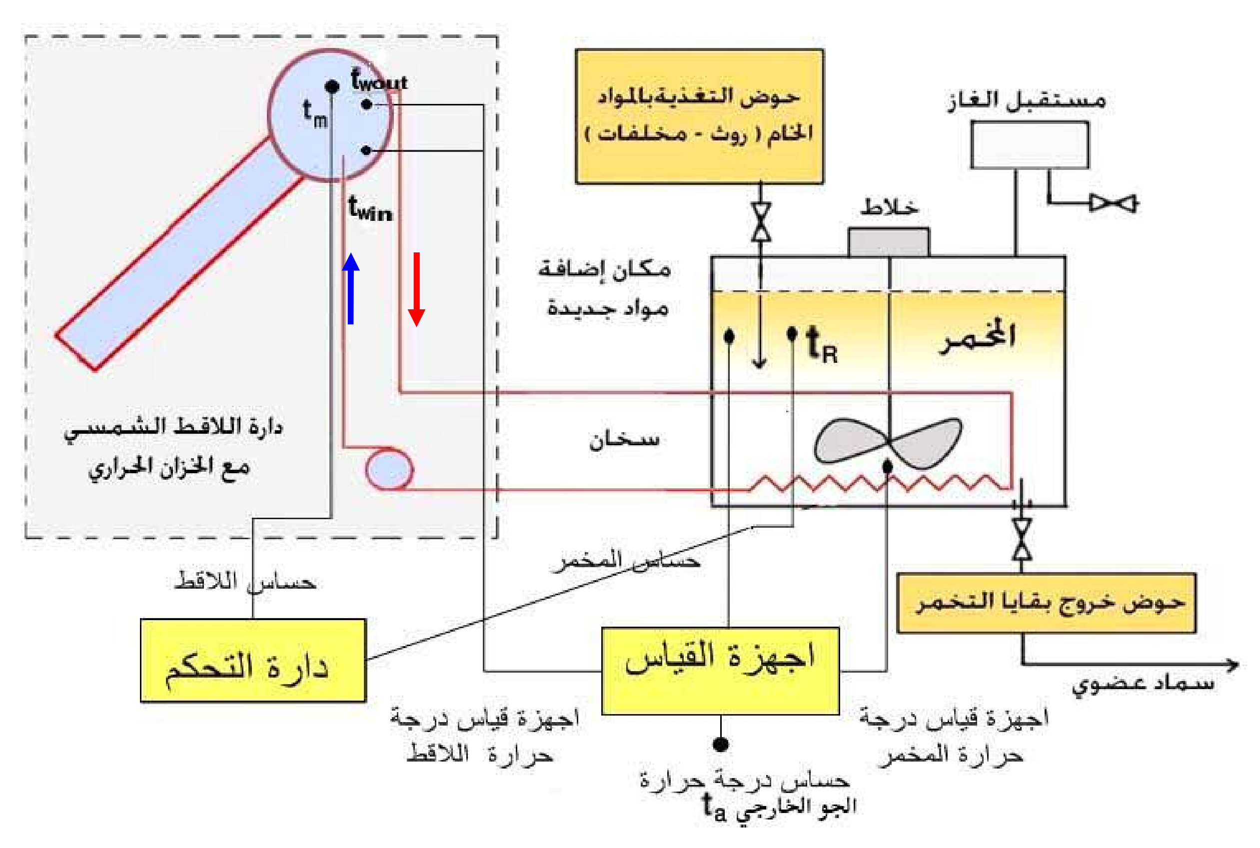
- الموقع مرتفع عن الوسط المحيط لتجنب المياه الجارية.
- أن تكون مقاومة التربة لاتقل عن 2 كغ/سم2.
- قريب من مصدر المادة الخام وموقع الاستثمار.
- ذو تهويه جيدة و معرض لأشعة الشمس.
- مسافة لا تقل عن 1.5 متر لأقرب أساس أو جدار.
- عدم تواجد أشجار قريبة من الموقع.
- مسافة لا تقل عن 15 متر من أقرب مصدر لماء الشرب.

الفصل الرابع

التجارب العملية والأجهزة المستخدمة

4-1 المحطة المنفذة:

لقد تم تجهيز المحطة التالية من أجل إجراء التجارب كما هو مبين بالشكل (4-1).



الشكل (4-1) مخطط المحطة المنفذة

والمحطة تتألف من :

4-1-1 المخمر:

هو عبارة عن خزان محكم الإغلاق الشكل (4-1) مصنوع من الحديد المزيبق سماكة 2mm مجهز بفتحة لدخول المواد المختمرة من الأعلى، ومزود بسكر 3 أنش من أجل إخراج المواد من الأسفل، وهو معزول بالصوف الزجاجي سماكة 2.5cm ومركب على قاعدة معدنية ترفعه عن الأرض، ومزود بمبادل حراري أنبوبي مصنوع من النحاس قطر الأنبوب 16 mm وطولة 17 m مركب داخل المخمر، ويبلغ قطر المخمر 0.49 m بارتفاع 0.8 m ، الغطاء العلوي قابل للفك مثبت مع القسم السفلي بواسطة 20 برغي، ويوجد جوان بين القسمين مصنوع من مادة الكرتون المقوى (جلد غزال) ،يثبت على الغطاء العلوي خلاط من أجل خلط المواد المختمرة من أجل تنشيط التفاعل.

والشكل (4-2) يبين المبادل الحراري في المخمر المختبر.



الشكل (4–2) شكل المخمر المستخدم في التجارب

4–1–2 اللاقط الشمسي:

اللاقط المستخدم لاقط شمسي أنبوبي مزود بخزان حراري، كما هو مبين بالشكل (4–3) وهو مكون من عشرة أنابيب ، مركب على قاعدة تميل بزاوية 45^{o} ، سعة الخزان الحراري 60 ليتر وهو مزود بفتحة لخروج الماء الساخن الذاهب للمخمر وفتحة لدخول الماء العائد من المخمر، وفي أعلى الخزان يوجد فتحتان، واحدة مركب بها أنبوب التنفيس والأخرى مربوطة مع خزان التعويض. مساحة اللاقط 0.555m2. أما مواصفات الأنابيب فهي موضحة بالجدول (4–1) ،ويبلغ قطر الخزان الحراري 40 cm بطول 98 cm معزول بعازل من الفوم سماكة 5 cm من جميع الجهات.

الجدول(4–4) مواصفات الأنبوب المستخدم

أنبوب مفرغ عادي	اسم الأنبوب	
أنابيب زجاجية مفرغة مزدوجة الجدران 1.5m×47mm	بنية الأنبوب	
47mm ± 0 .7mm سماكة =1.6mm	القطر الخارجي للأنبوب وسماكته	
37mm ± 0 .7mm سماكة =1.6mm	القطر الداخلي للأنبوب وسماكته	
1.5 متر	طول الأنبوب	



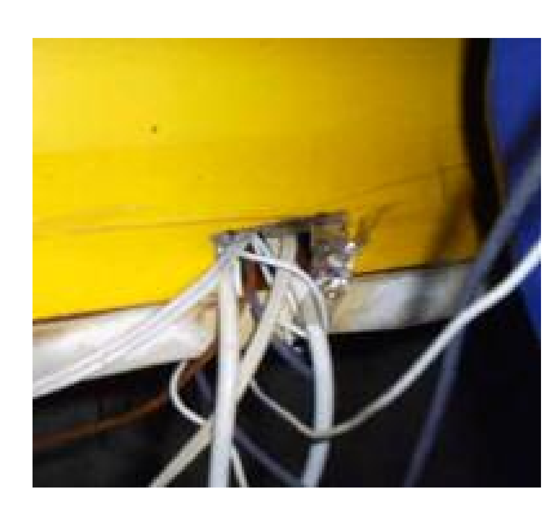
الشكل (4-3) اللاقط المستخدم في التجربة

4-1-3 أجهزة القياس والتسجيل:

وهي مجموعة من مقاييس درجة الحرارة وهي مركبة في المخمر يركب مقياسين في أعلى المخمر وأسفله، و في اللاقط الشمسي يركب مقياسين واحد في أعلى الخزان الحراري وحساس في أسفله، وحساس خارجي لقياس درجة حرارة الجو المحيط ، كما يركب مقياس للضغط في أعلى المخمر، وداخل صندوق المقـاييس تركب كاميرا مع جهاز تسجيل لتسجيل القراءاتDVR كما هو مبين في الشكل (4-5).









الشكل (4-5) أجهزة القياس والتسجيل المستخدمة

4-1-3-1 مواصفات المقاييس وأجهزة التسجيل المستخدمة :

أ- **مقياس درجة الحرارة TPM-10**: ويملك المواصفات الموضحة بالجدول (4-5) وقد استخدم هذا الحساس في أعلى المخمر وفي أسفل الخزان الحراري.

الجدول (4-5) مواصفات الحساس TPM-10

		-
-50 to 70 °C	المجال	
±1°C	مجال الخطأ	
size 36 x 16 mm	أبعاد الشاشة	
1m cable	طول كبل الحساس	
DC 1.5V AG13× 2	التغذية الكهربائية	
47.8 x 28.5 x 14.3 mm	أبعاد الجهاز	

ب- مقياس درجة الحرارة TPM-900: ويملك المواصفات الموضحة بالجدول (4-6)، واستخدم هذا الجهاز في أعلى الخزان الحراري بسبب احتمال ارتفاع درجة الحرارة فوق ^{o}C 70.

الجدول (4-6) مواصفات الحساس TPM-10

-30 to 110 °C	المجال	
±1°C	مجال الخطأ	
size 58,4 x 25,7 mm	أبعاد الشاشة	
AC 220 ± 10% V	التغذية الكهربائية	
64 x 31 mm 35 mm	أبعاد الجهاز	
2 m يمكن زيادته حتى 50 m	طول كبل الحساس	

ج- مقياس درجة الحرارة Revalco RC-48BD : وهو عبارة عن مفتاح فصل وصل مع مقياس درجة حرارة، استخدم في أسفل المخمر من أجل سهولة تركيب الحساس الخاص به، فالحساس الخاص به مزود بسن وعزقة تسهل عملية تركيبه في جسم المخمر وهو موضح بالجدول (4-7).

الجدول (4-7) مواصفات الحساس Revalco RC-48BD

0 to 399 °C	**المجال**	
±1°C	**مجال الخطأ**	
2 m	**طول الكبل**	
AC 220 v	**التغذية الكهربائية**	

د- مقياس الضغط:

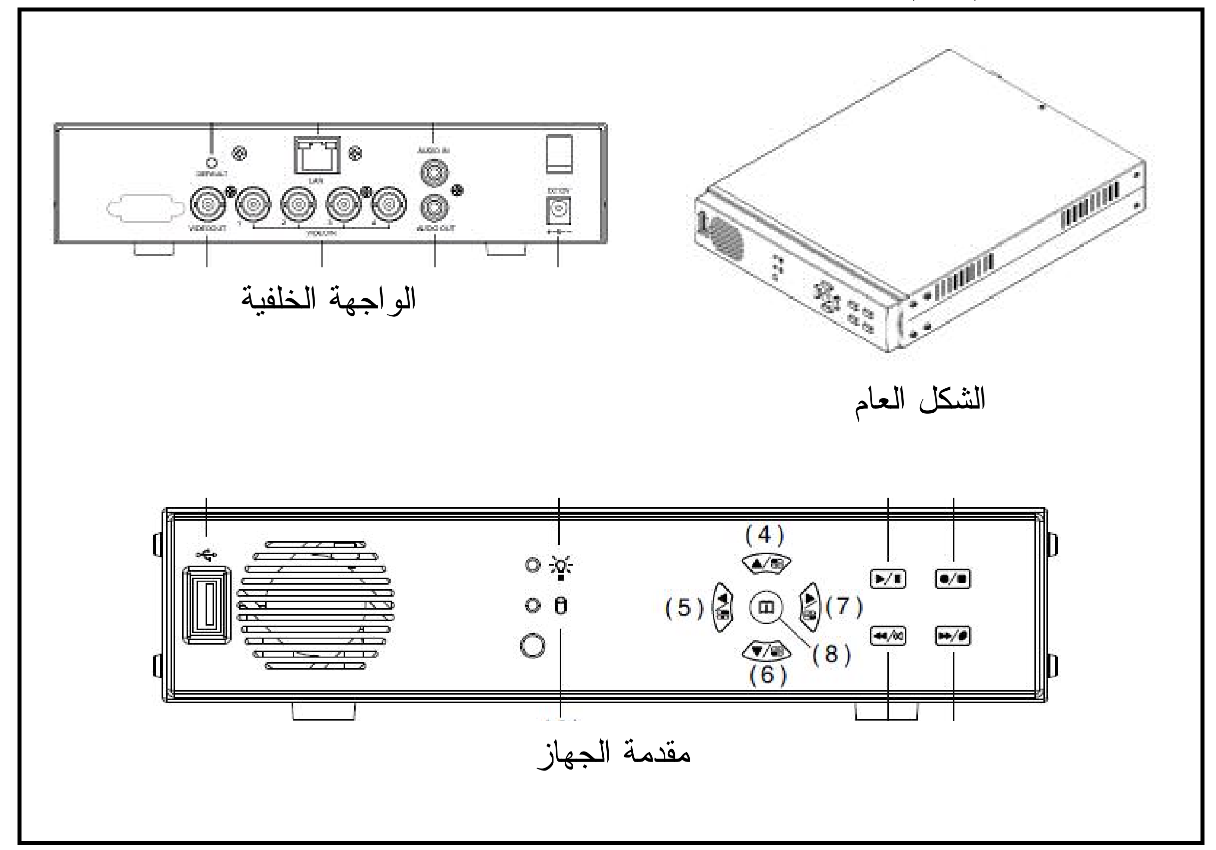
ويركب في أعلى المخمر ومواصفاته موضحة بالجدول رقم (4-8).

الجدول (4-8) مواصفات مقياس الضغط

	**مجال القياس**	**0-6 BAR**
	مجال الخطأ	**±0.1 BAR**
	بلد الصنع	**GERMANY**
	الاسم	**PIPA**

هـ - جهاز التسجيل 4CH STANDALONE DVR:

وهو جهاز مراقبة وتسجيل يوصل معه كاميرا مراقبة لتسجيل قراءة العدادات مزودة بنظام تصوير ليلي ويركب داخل الجهاز قرص صلب سعة 160 GB يكفي لتصوير 9 أيام عند استعمال كاميرا واحدة والجهاز مبين بالشكل (4-6).



الشكل (4-6) جهاز التسجيل

والمواصفات العامة لهذا الجهاز مبينة بالجدول رقم (4-9).

الجدول (4–9) مواصفات الجهاز العامة

نوع التسجيل	NTSC/PAL
مخارج الكاميرات	عدد 4
مخرج الصوت	عدد1
دقة التسجيل إطار بالثانية	NTSC Max. 60 fps
	PAL Max. 50 fps
القرص الصلب	SATA HDD x 1 160 GB WD
التغذية الكهربائية	DC 12V / 3A(AC100V~240V 50/60HZ)
أبعاد الجهاز	220mm x 228mm x 48mm (WxDxH)
الوزن	1.5KG

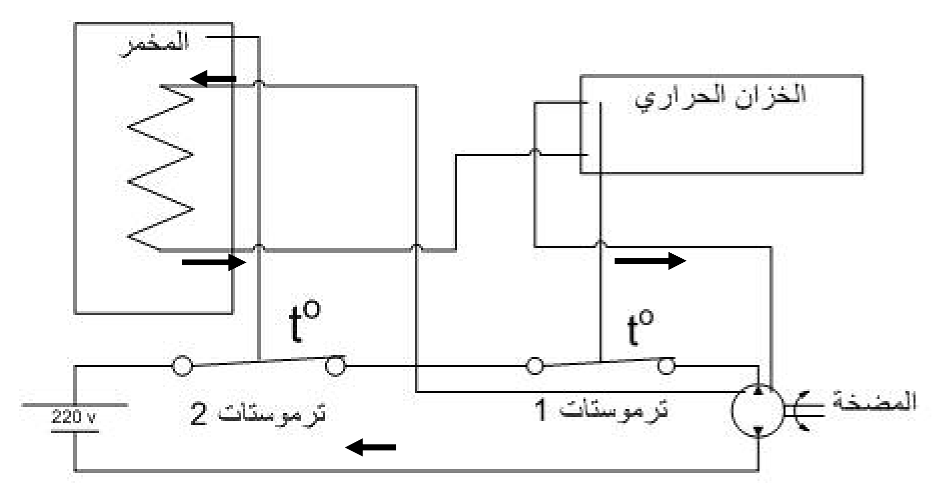
ويتم فك القرص الصلب ووصله بالكمبيوتر وأخذ القراءات كل ساعة من ساعات التجربة، كما يتم أخذ صورة عن كل قراءة كما في الشكل (4–7) ، حيث تبين الصور اليوم والسنة والساعة مع مقاييس درجة الحرارة أما مقياس الضغط فيتم أخذ قراءته كل يوم، ويتم تفريغ المخمر من الغاز بعد أخذ كل قراءة .



الشكل (4–7) صور من القراءات

4-1-4 أجهزة التحكم:

تم اعتماد دارة تعتمد على درجة الحرارة الخاصة بالمخمر والخزان الشمسي، تتألف هذه الدارة من ترموستاتين موصولين على التسلسل كما في الشكل (4-8) مربوطين عند طرف المضخة، تدفق الماء الساخن خلال المخمر يبدأ عندما تكون درجة حرارة الماء الخارج من الخزان الحراري (t_{wout}) أكبر أو تساوي درجة معينة t_{min}. ويتوقف التدفق عندما تكون درجة الحرارة (t_{wout}) أقل من t_{min}، أو عندما تكون درجة حرارة المخمر تجاوزت t_R.



الشكل (4-8) يبين الترموستاتين مع موقع الحساسات والمضخة

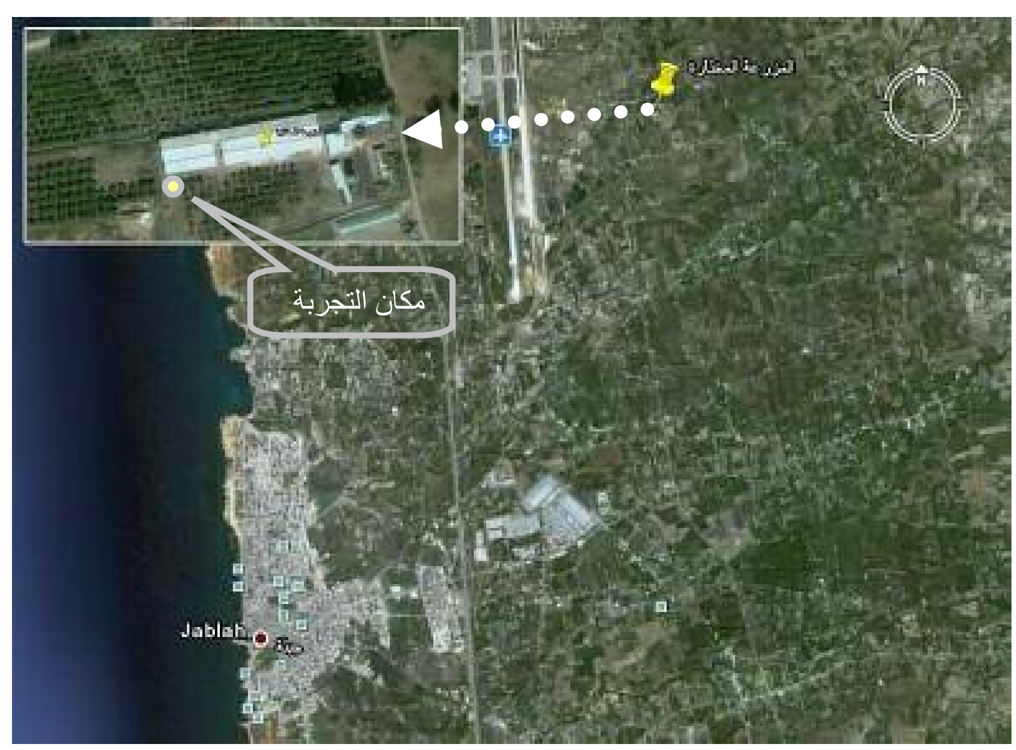
والشكل (4-9) يبين شكل الترموستات المستخدم وهو ترموستات قابل لتعيير مجال درجات الحرارة من 30-90 °C.



الشكل(4-9) يبين شكل ومكان توضع الترموستاتين

4-2 مكان التجارب:

تم اختيار مزرعة أبقار نموذجية تقع في قرية الشراشير محافظة اللاذقية ، وهي تحوي 400 رأس من الأبقار تبعد عن الشاطئ 5 كم والمكان المختار في المزرعة مكشوف، وهي تقع على خط عرض 35.25 كما هو مبين في الشكل (4-10) والشكل (4-11).



الشكل (4-10) موقع المزرعة



الشكل (4-11) مزرعة الأبقار من الداخل

4-3 التجارب العملية :

4-3-1 طريقة اخذ القياسات وإجراء التجارب

1- تم تعبئة المخمر حتى ارتفاع 50 سم من ارتفاع المخمر البالغ 80 سم والباقي ترك لتجميع الغاز .

2- يتم تمديد الروث بالماء بنسبة 1/1 كل حجم من الروث الطري يخلط بحجم مماثل من الماء، ويتم بعدها حساب كثافة الخلطة.

2- حساب إنتاج الغاز:

يتم تجميع الغاز كل يوم وأخذ قراءة مقياس الضغط P_g (Bar) ودرجة حرارة الغاز T_g (k) عند لحظة القراءة ، بعدها يتم تفريغ الغاز حتى الوصول للضغط الجوي P_a بعد أخذ القراءات مباشرة، عملية التفريغ مهمة لأن زيادة الضغط داخل الخزان قد يؤدي إلى تسرب الغاز من خلال الجوان، بعد أخذ قراءة كل من درجة حرارة وضغط الغاز P_g و T_g ، و $V`_g$ قيمتها ثابتة ومعلومة وهي حجم الفراغ المتبقي من حجم المخمر وهو (m^3) 0.05654 وعن طريق العلاقة التالية $\frac{p_1 v_1}{p_2 v_2} = \frac{T_1}{T_2}$

وبفرض قيمة T_a=288 K و P_a=1 Bar يتم حساب V_a :

$$V_a = V_g . P_g . T_a / (P_a . T_g)$$

ومنه يكون الإنتاج اليومي للغاز:

$$V_g = V_a - V`_g \quad (m^3)$$

والإنتاج التراكمي يساوي لعدد معين من الأيام :

$$V_{gtotal} = V_{g1} + V_{g2} + V_{g3} + \ldots\ldots\ldots etc \quad (m^3)$$

حجم المادة المخمرة في المخمر يساوي (m^3) 0.0942 يتم حساب الإنتاج النوعي اليومي والتراكمي على التوالي من أجل (m^3) 1 مادة مخمرة كما يلي :

$$V_{Eg} = V_g \times 1000/0.0942 \quad (l_g/m^3{}_R)$$

$$V_{Egtotal} = V_g \times 1000/0.0942 \quad (l_g/m^3{}_R)$$

3- في نهاية كل تجربة يتم سحب القياسات واخذ قراءة درجات الحرارة كل ساعة، وذلك خلال فترة التجربة ولمدة عدة أيام علماً أن الماء داخل الخزان الحراري هو نفسه في كل التجارب، ولم يتم تغييره، وفي المخططات اليومية والوسطية لدرجة حرارة المحيط والمخمر والخزان الحراري تم اعتماد الساعة الواحدة صباحاً هي نقطة الصفر .

4- يتم حساب كمية الغاز المتولدة خلال فترة التجربة ولمدة 11 يوم وذلك خلال فترة التجارب المختلفة وسوف يتم الاستمرار في التجربة الأخيرة حتى ينتهي الغاز ويتوقف الإنتاج بشكل شبه كامل.

5- يتم في كل تجربة تحديد درجة حرارة التخمير عن طريق دارة التحكم ويتم اختيار درجات حرارة تخمير مختلفة ومقارنة إنتاج الغاز عند درجات الحرارة المختلفة.

6- في التجربة الخاصة التي لا نستخدم فيها الطاقة الشمسية يتم فصل دارة التحكم، بالمضخة مع فصل دارة اللاقط الشمسي.

6- زاوية ميلان اللاقط الشمسي هي 45^o لأن هذه الزاوية مناسبة لفصل الشتاء، وهـو الفـصل الـذي نحتاج فيه للطاقة أكبر.

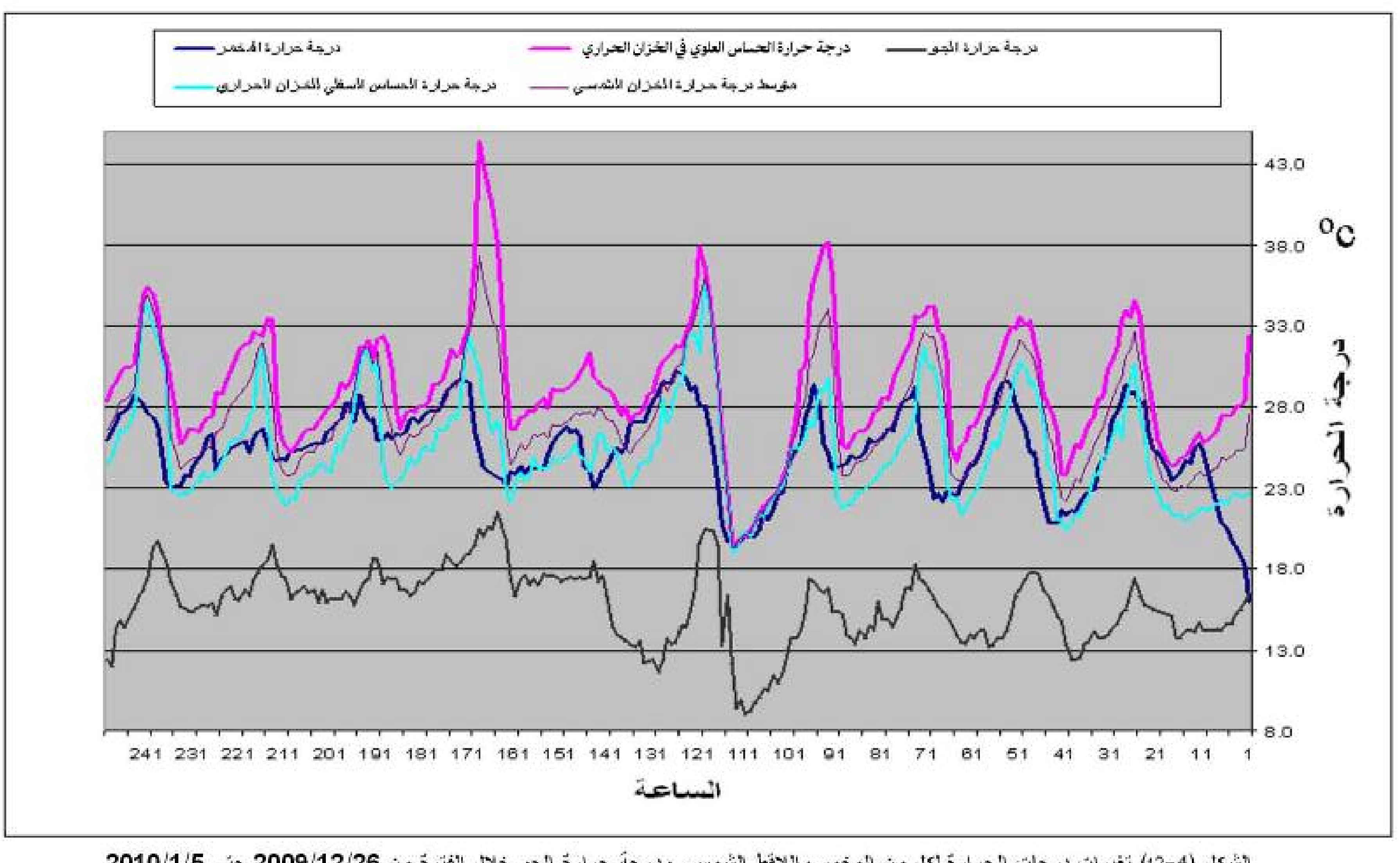
7- درجة حرارة المخمر هي درجة حرارة الوسط الحسابي مابين درجة حرارة أعلى وأسفل المخمر.

8- تم الاعتماد على قيم الإشعاع الشمسي حسابيًا بالاعتماد على الآشري الأمريكي (Ashree) [23] .

4-3-2 التجربة الأولى :

يتم تعيير دارة التحكم بحيث تعمل المضخة عندما تكون درجة حرارة المـاء الخـارج مـن الخـزان الحراري t_{wout} اكبر من $27\ ^oC$ ودرجة حرارة المخمر اقل من $27\ ^oC$.

تم إجراء التجربة في 26/ 12/ 2009 في تمام الساعة الثالثة بعد الظهر واستمرت حتى 5/1/ 2010 . ويوضح الشكل (4-12) تغيرات درجات الحرارة لكل من المخمر واللاقط الشمسي ودرجة حـرارة الجـو الخارجي خلال الفترة من 2009/12/26 حتى 2010/1/5. حيث يلاحظ من المخطط تذبذب درجة حـرارة المخمر مابين $30\ ^oC$ و20. أما درجة حرارة الخزان الحراري الوسطية فتتراوح بين 25 و $35\ ^oC$ ويعود السبب في ذلك بسبب انخفاض درجة حرارة الجو الخارجي مع جو غائم أغلب الأحيان خلال فترة التجربـة مما أدى انخفاض الكسب الحراري الشمسي من اللاقط .



الشكل (4-12) تغيرات درجات الحرارة لكل من المخمر واللاقط الشمسي ودرجة حرارة الجو خلال الفترة من 2009/12/26 حتى 2010/1/5

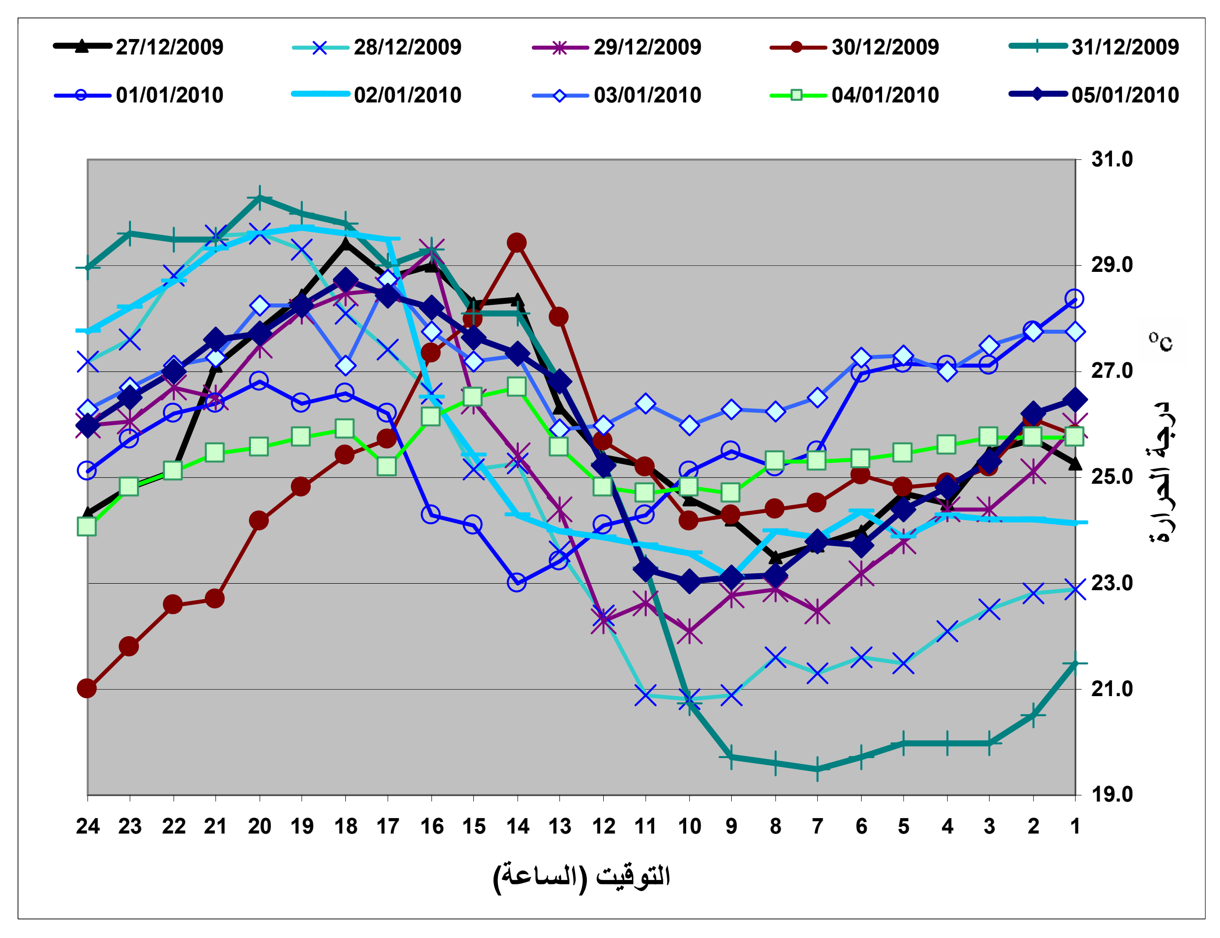
4-3-2-1 درجة حرارة المخمر:

ويوضح الجدول (4-10) درجات حرارة المخمر خلال 24 ساعة طول مدة التجربة مع متوسط هذه الدرجات في كل ساعة

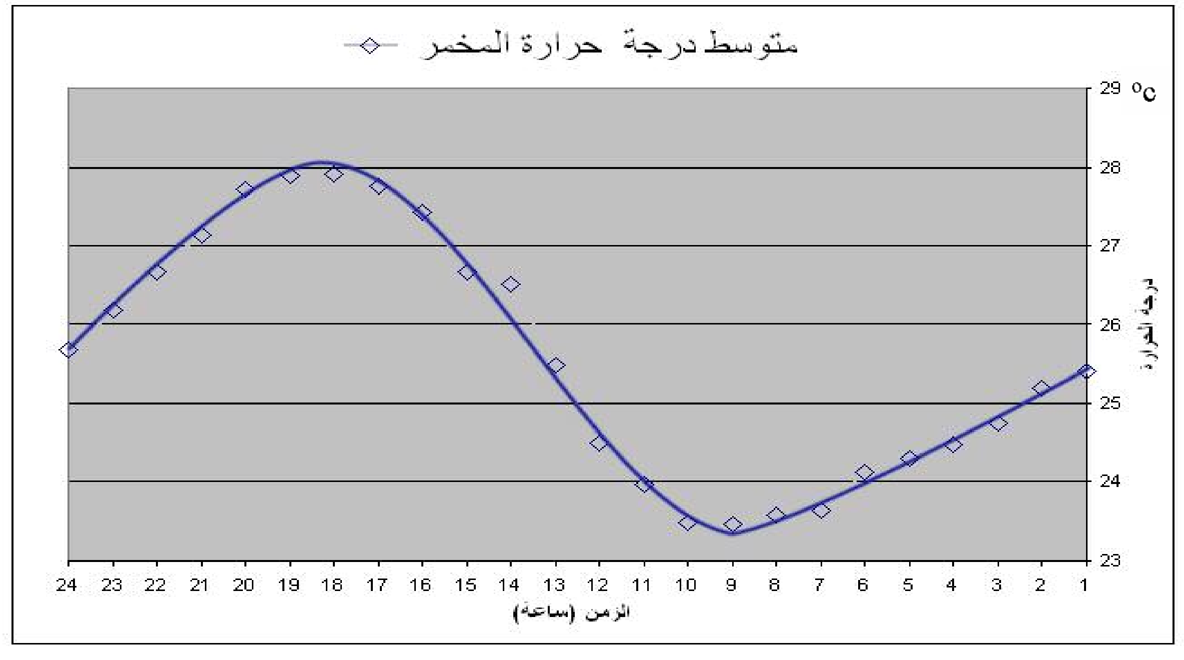
الجدول (4-10) درجة حرارة للمخمر (^oC) t_R خلال التجربة (1) خلال 24 ساعة
مع المتوسط لساعات أيام التجربة

المتوسط	05/01	04/01	03/01	02/01	01/01	31/12	30/12	29/12	28/12	27/12	الساعة
25.39	26.5	25.8	27.8	24.2	28.4	21.5	25.8	26.0	22.9	25.3	**1**
25.18	26.2	25.8	27.8	24.2	27.8	20.5	26.1	25.1	22.8	25.7	**2**
24.75	25.3	25.8	27.5	24.2	27.1	20.0	25.2	24.4	22.5	25.5	**3**
24.47	24.8	25.6	27.0	24.3	27.1	20.0	24.9	24.4	22.1	24.5	**4**
24.3	24.4	25.5	27.3	23.9	27.2	20.0	24.8	23.8	21.5	24.7	**5**
24.12	23.7	25.4	27.3	24.4	27.0	19.7	25.1	23.2	21.6	24.0	**6**
23.64	23.8	25.3	26.5	23.9	25.5	19.5	24.5	22.5	21.3	23.7	**7**
23.59	23.2	25.3	26.3	24.0	25.2	19.6	24.4	22.9	21.6	23.5	**8**
23.46	23.1	24.7	26.3	23.1	25.5	19.7	24.3	22.8	20.9	24.2	**9**
23.49	23.1	24.8	26.0	23.6	25.1	20.8	24.2	22.1	20.8	24.6	**10**
23.96	23.3	24.7	26.4	23.7	24.3	23.3	25.2	22.6	20.9	25.2	**11**
24.5	25.2	24.8	26.0	23.9	24.1	25.3	25.7	22.3	22.4	25.4	**12**
25.48	26.8	25.6	25.9	24.0	23.4	26.8	28.0	24.4	23.6	26.3	**13**
26.52	27.4	26.7	27.3	24.3	23.0	28.1	29.4	25.4	25.3	28.4	**14**
26.68	27.7	26.5	27.2	25.4	24.1	28.1	28.0	26.4	25.2	28.3	**15**
27.44	28.2	26.2	27.8	26.5	24.3	29.3	27.4	29.3	26.6	29.0	**16**
27.75	28.5	25.2	28.8	29.5	26.2	29.0	25.7	28.6	27.4	28.8	**17**
27.91	28.8	25.9	27.1	29.6	26.6	29.8	25.4	28.5	28.1	29.4	**18**
27.9	28.3	25.8	28.3	29.7	26.4	30.0	24.8	28.2	29.3	28.4	**19**
27.72	27.7	25.6	28.3	29.6	26.8	30.3	24.2	27.5	29.6	27.8	**20**
27.14	27.6	25.5	27.3	29.3	26.4	29.5	22.7	26.5	29.6	27.1	**21**
26.68	27.0	25.1	27.1	28.7	26.2	29.5	22.6	26.7	28.8	25.1	**22**
26.17	26.5	24.8	26.7	28.2	25.7	29.6	21.8	26.1	27.6	24.8	**23**
25.67	26.0	24.1	26.3	27.8	25.1	29.0	21.0	26.0	27.2	24.3	**24**

يوضح الشكل (4-13) قيم درجة حرارة المخمر خلال أيام التجربة والشكل (4-14) يوضح القيمة المتوسطة لدرجة حرارة المخمر لكل أيام التجربة.



الشكل (4-13) قيم درجة حرارة المخمر خلال أيام التجربة (1)



والشكل (4-14) يوضح القيمة المتوسطة لدرجة حرارة المخمر لكل أيام التجربة (1)

ويلاحظ من الشكل (4-14) أن أخفض درجة حرارة للمخمر تكون في الساعة التاسعة صباحاً وأخفض درجة هي 23.5 °C وتبدأ بالارتفاع حتى الساعة السابعة مساء بحيث ترتفع للدرجة 27.91 °C لتبدأ

بالانخفاض مرة أخرى وذلك بحركة شبه جيبية بحيث يكون متوسط درجـــة حـــرارة المخمـــر هـــي 25.6 °C.

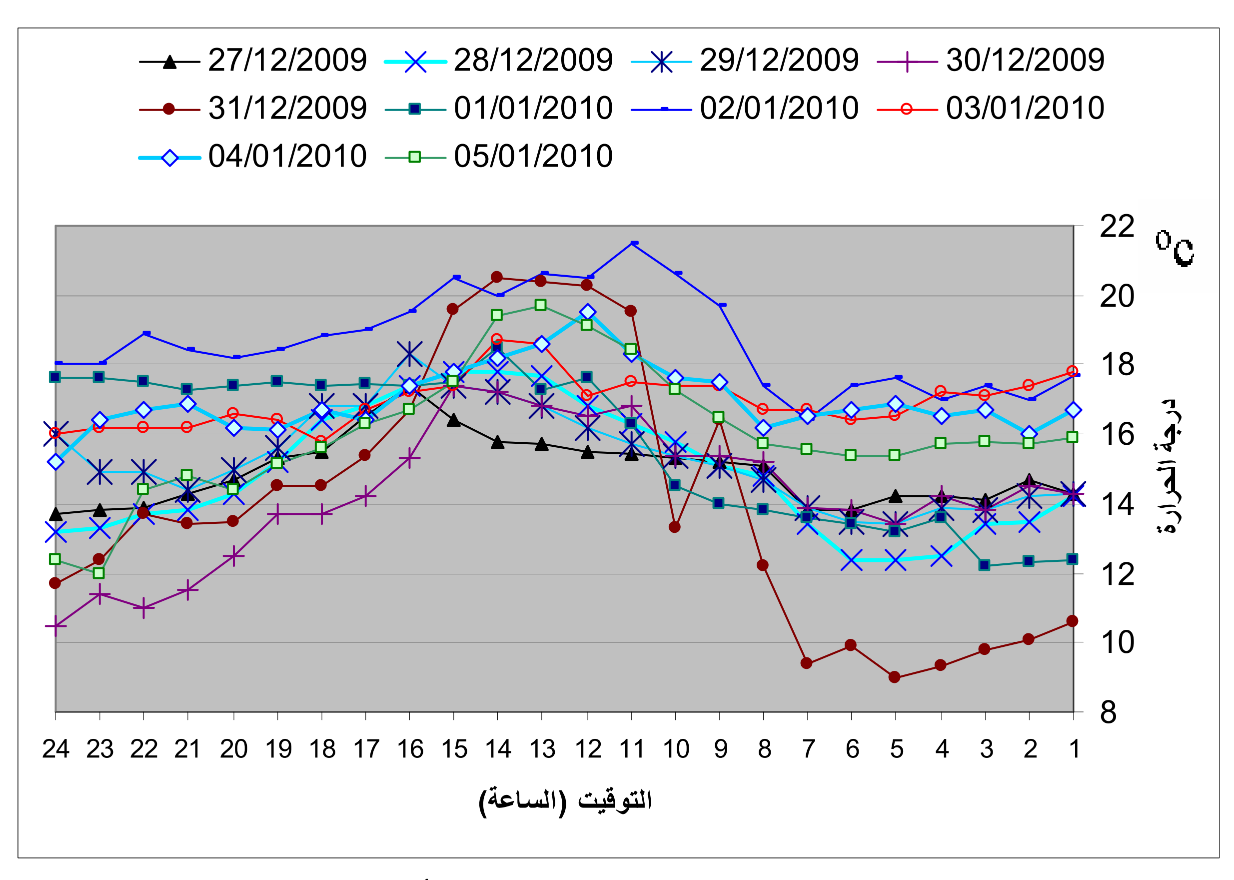
4-3-2-2 درجة حرارة الوسط الخارجي :

ويوضح الجدول (4-11) درجات حرارة الوسط الخارجي خلال 24 ساعة طول مدة التجربة مع متوسط هذه الدرجات في كل ساعة

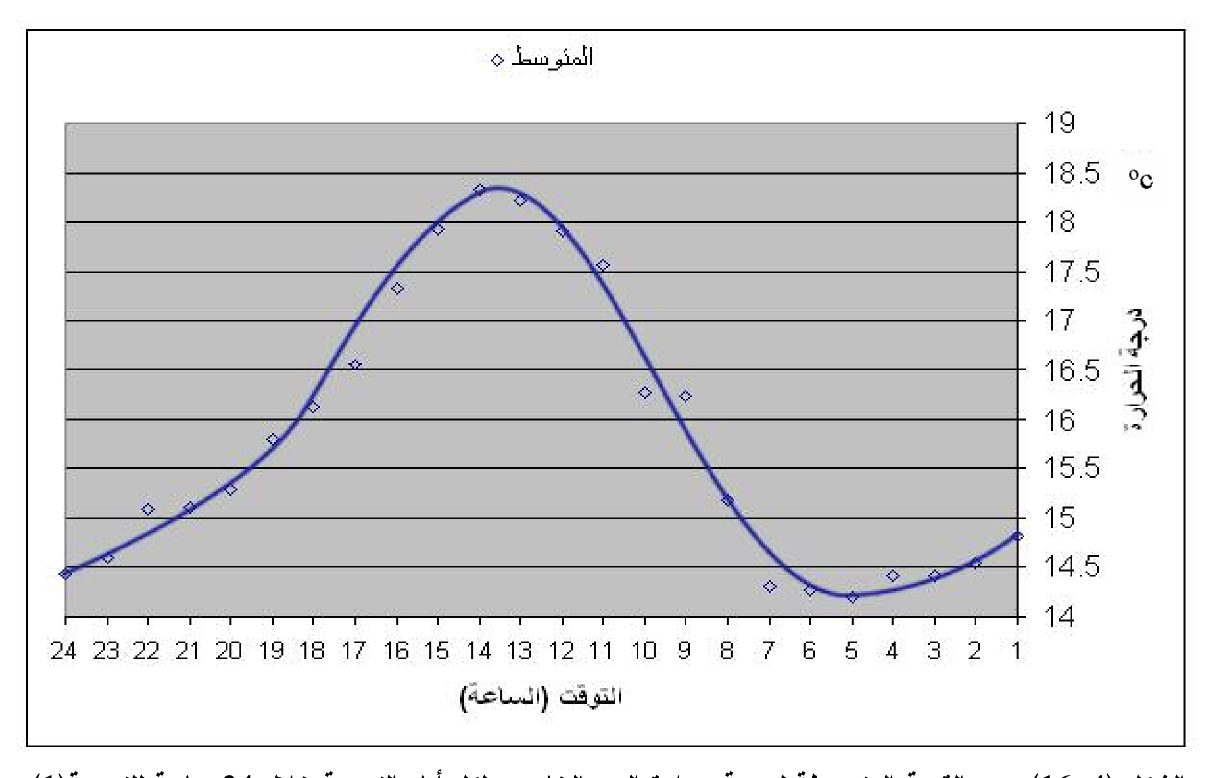
الجدول (4-11) درجات حرارة الجو الخارجي (°C) t_a خلال التجربة (1) خلال 24 ساعة مع المتوسط لساعات أيام التجربة

المتوسط	05/01	04/01	03/01	02/01	01/01	31/12	30/12	29/12	28/12	27/12	الساعة
14.8	15.9	16.7	17.8	17.7	12.4	10.6	14.3	14.3	14.2	14.3	**1**
14.5	15.7	16.0	17.4	17.0	12.3	10.1	14.5	14.2	13.5	14.7	**2**
14.4	15.8	16.7	17.1	17.4	12.2	9.8	13.8	13.8	13.4	14.1	**3**
14.4	15.7	16.5	17.2	17.0	13.6	9.3	14.2	13.9	12.5	14.2	**4**
14.2	15.4	16.9	16.5	17.6	13.2	9.0	13.4	13.4	12.4	14.2	**5**
14.3	15.4	16.7	16.4	17.4	13.4	9.9	13.8	13.5	12.4	13.8	**6**
14.3	15.6	16.5	16.7	16.4	13.6	9.4	13.9	13.9	13.4	13.8	**7**
15.2	15.7	16.2	16.7	17.4	13.8	12.2	15.2	14.7	14.8	15.1	**8**
16.2	16.5	17.5	17.4	19.7	14.0	16.4	15.4	15.1	15.1	15.2	**9**
16.3	17.3	17.6	17.4	20.6	14.5	13.3	15.4	15.4	15.8	15.3	**10**
17.6	18.4	18.3	17.5	21.5	16.3	19.5	16.8	15.7	16.3	15.4	**11**
17.9	19.1	19.5	17.1	20.5	17.6	20.3	16.5	16.2	16.8	15.5	**12**
18.2	19.7	18.6	18.6	20.6	17.3	20.4	16.8	16.8	17.7	15.7	**13**
18.3	19.4	18.2	18.7	20.0	18.5	20.5	17.2	17.2	17.8	15.8	**14**
17.9	17.5	17.8	17.4	20.5	17.5	19.6	17.4	17.4	17.8	16.4	**15**
17.3	16.7	17.4	17.2	19.5	17.4	16.7	15.3	18.3	17.4	17.4	**16**
16.6	16.3	16.4	16.7	19.0	17.5	15.4	14.2	16.8	16.8	16.5	**17**
16.1	15.6	16.7	15.8	18.9	17.4	14.5	13.7	16.8	16.4	15.5	**18**
15.8	15.2	16.1	16.4	18.4	17.5	14.5	13.7	15.6	15.2	15.3	**19**
15.3	14.4	16.2	16.6	18.2	17.4	13.5	12.5	15.0	14.3	14.7	**20**
15.1	14.8	16.9	16.2	18.4	17.3	13.4	11.5	14.4	13.8	14.3	**21**
15.1	14.4	16.7	16.2	18.9	17.5	13.7	11.0	14.9	13.7	13.9	**22**
14.6	12.0	16.4	16.2	18.0	17.6	12.4	11.4	14.9	13.3	13.8	**23**
14.4	12.4	15.2	16.0	18.0	17.6	11.7	10.5	16.0	13.2	13.7	**24**

يوضح الشكل (4-15) قيم درجة حرارة الجو الخارجي خلال أيام التجربة والشكل (4-16) يوضح القيمة المتوسطة لدرجة حرارة الجو الخارجي خلال التجربة (1).



الشكل (4-15) قيم درجة حرارة الجو الخارجي خلال أيام التجربة (1)



الشكل (4-16) يبين القيمة المتوسطة لدرجة حرارة الجو الخارجي لكل أيام التجربة خلال 24 ساعة للتجربة(1)

ويلاحظ من الشكل (4–16) أن أخفض درجة حرارة للجو الخارجي تكــون عنــد الــساعة الخامــسة واخفض درجة هي $14.2\ ^{o}C$ وتبدأ بالارتفاع حتى الساعة الواحدة ظهــراً بحيــث ترتفــع للدرجــة $18.3\ ^{o}C$ لتبدأ بالانخفاض مرة أخرى، وذلك بحركة شبه جيبية بحيث يكون متوسط درجة حرارة الجو الخارجي هي $16.1\ ^{o}C$.

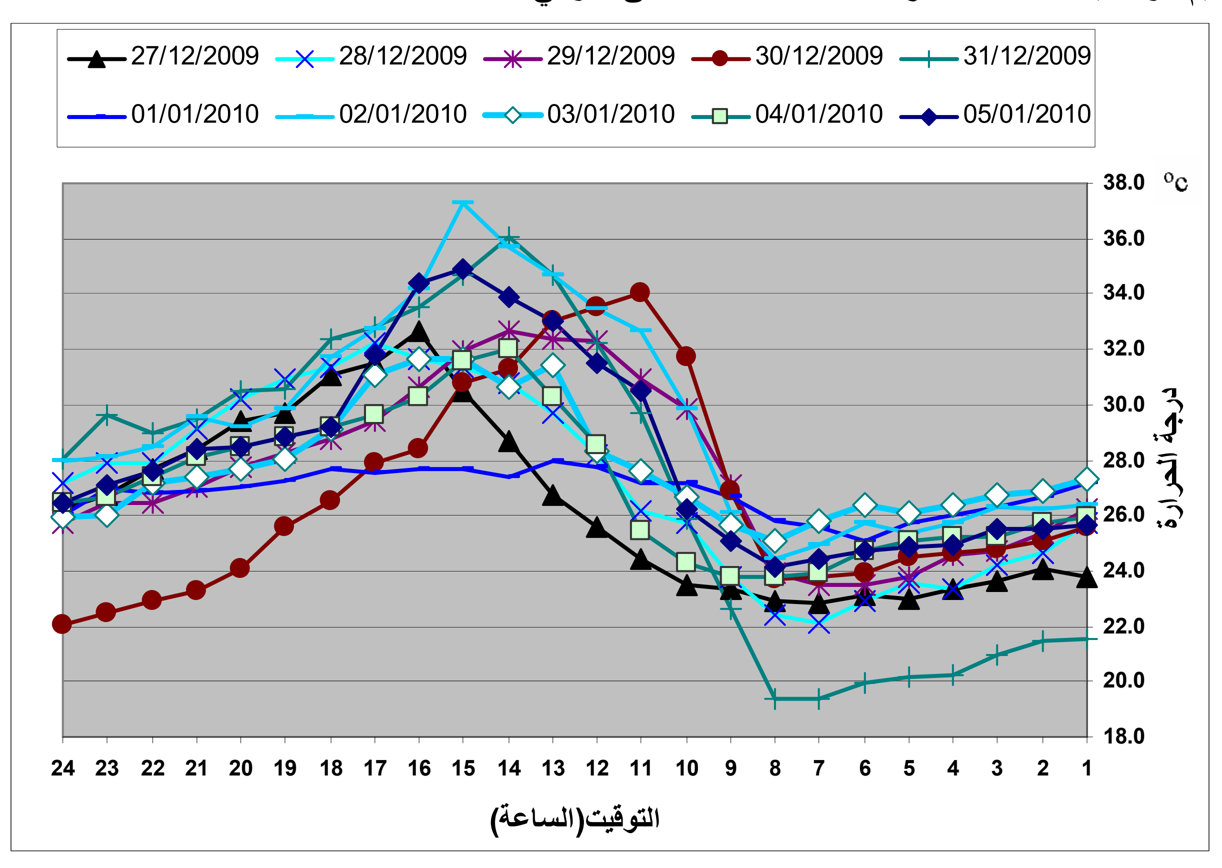
4–3–2–3 درجة حرارة الخزان الحراري:

يوضح الجدول (4–12) درجات حرارة الخزان الحراري الوسطية، وهي متوسط درجة حرارة أسفل وأعلى الخزان خلال 24 ساعة طول مدة التجربة مع متوسط هذه الدرجات في كل ساعة.

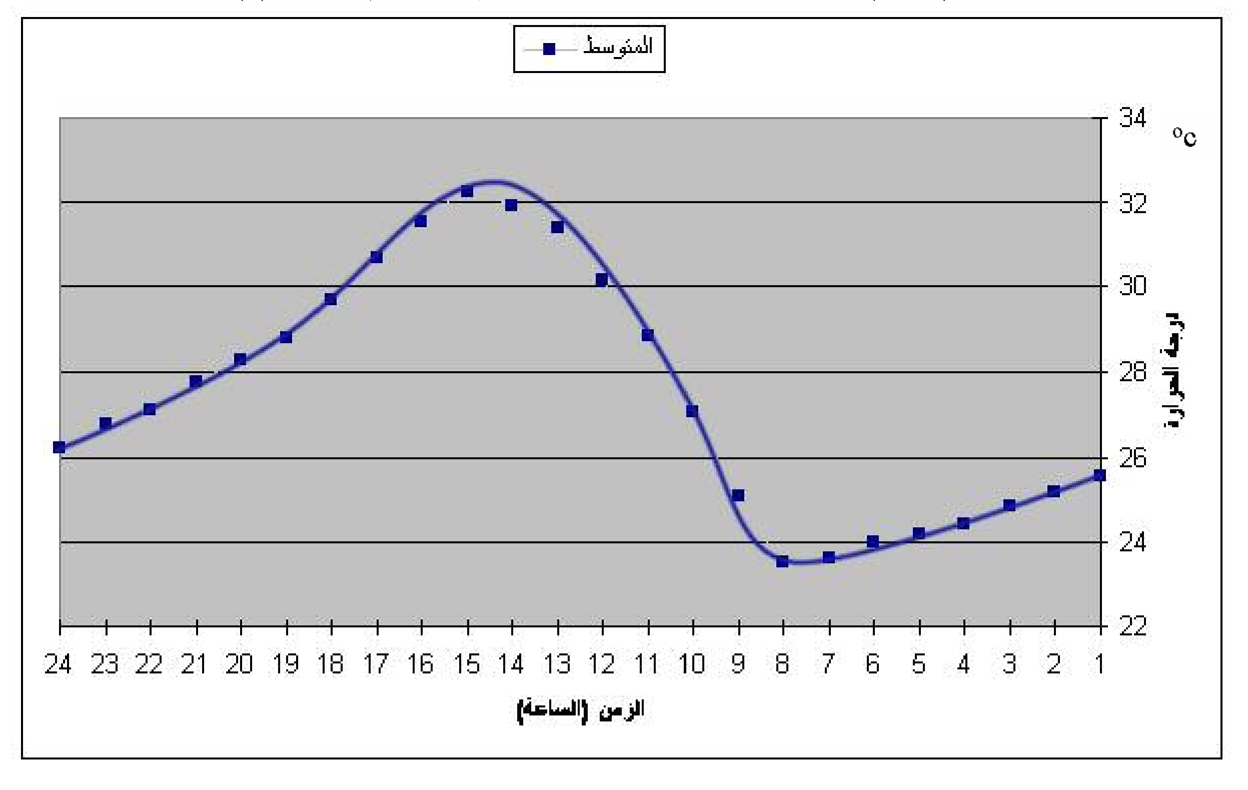
الجدول (4–12) درجات حرارة الخزان الحراري الوسطية (^{o}C) t_m للتجربة(1)

المتوسط ^{o}C	05/01	04/01	03/01	02/01	01/01	31/12	30/12	29/12	28/12	27/12	التوقيت (الساعة)
25.5	25.7	26.0	27.4	26.4	27.2	21.6	25.6	26.2	25.7	23.8	**1**
25.2	25.5	25.8	26.9	26.2	26.7	21.5	25.1	25.4	24.7	24.0	**2**
24.8	25.5	25.3	26.8	26.3	26.3	21.0	24.8	24.7	24.2	23.6	**3**
24.4	25.0	25.3	26.4	25.8	26.0	20.3	24.6	24.6	23.3	23.3	**4**
24.2	24.9	25.1	26.1	25.4	25.7	20.2	24.5	23.8	23.6	23.0	**5**
24.0	24.7	24.8	26.4	25.7	25.1	20.0	23.9	23.5	22.9	23.1	**6**
23.6	24.4	24.0	25.8	24.9	25.6	19.4	23.7	23.5	22.1	22.8	**7**
23.6	24.2	23.8	25.1	24.4	25.8	19.4	23.7	23.9	22.4	22.9	**8**
25.1	25.1	23.8	25.7	26.1	26.7	22.6	26.9	27.1	23.8	23.3	**9**
27.1	26.2	24.3	26.7	29.9	27.2	25.9	31.7	29.8	25.7	23.5	**10**
28.9	30.5	25.5	27.6	32.7	27.2	29.7	34.0	30.9	26.2	24.4	**11**
30.1	31.5	28.6	28.4	33.5	27.8	32.3	33.5	32.3	28.2	25.6	**12**
31.4	33.0	30.3	31.5	34.7	28.0	34.7	33.1	32.4	29.7	26.8	**13**
31.9	33.9	32.0	30.7	35.7	27.4	36.1	31.3	32.7	30.8	28.7	**14**
32.2	34.9	31.6	31.7	37.3	27.7	34.7	30.8	32.0	31.4	30.5	**15**
31.5	34.4	30.3	31.7	34.2	27.7	33.5	28.4	30.7	31.6	32.7	**16**
30.7	31.8	29.7	31.1	32.7	27.6	32.8	27.9	29.4	32.2	31.5	**17**
29.7	29.2	29.2	29.1	31.8	27.7	32.4	26.5	28.7	31.4	31.1	**18**
28.8	28.8	28.8	28.1	29.9	27.3	30.6	25.6	28.3	30.9	29.7	**19**
28.3	28.5	28.5	27.7	29.2	27.1	30.5	24.1	27.7	30.2	29.4	**20**
27.8	28.4	28.1	27.4	29.6	26.9	29.5	23.3	27.0	29.1	28.4	**21**
27.1	27.6	27.4	27.2	28.5	26.8	29.0	22.9	26.5	27.9	27.7	**22**
26.8	27.1	26.7	26.0	28.1	27.0	29.7	22.5	26.4	27.9	26.7	**23**
26.2	26.5	26.5	26.0	28.0	26.1	28.1	22.1	25.7	27.1	26.2	**24**

وتوضح الأشكال (4−17) و(4−18) تغير درجة حرارة الخزان الحراري خلال أيام التجربة مع القيم الوسطية لساعات التجربة خلال 24 ساعة على التوالي.



الشكل (4−17) تغير درجات الحرارة الخزان الحراري خلال أيام التجربة (1)



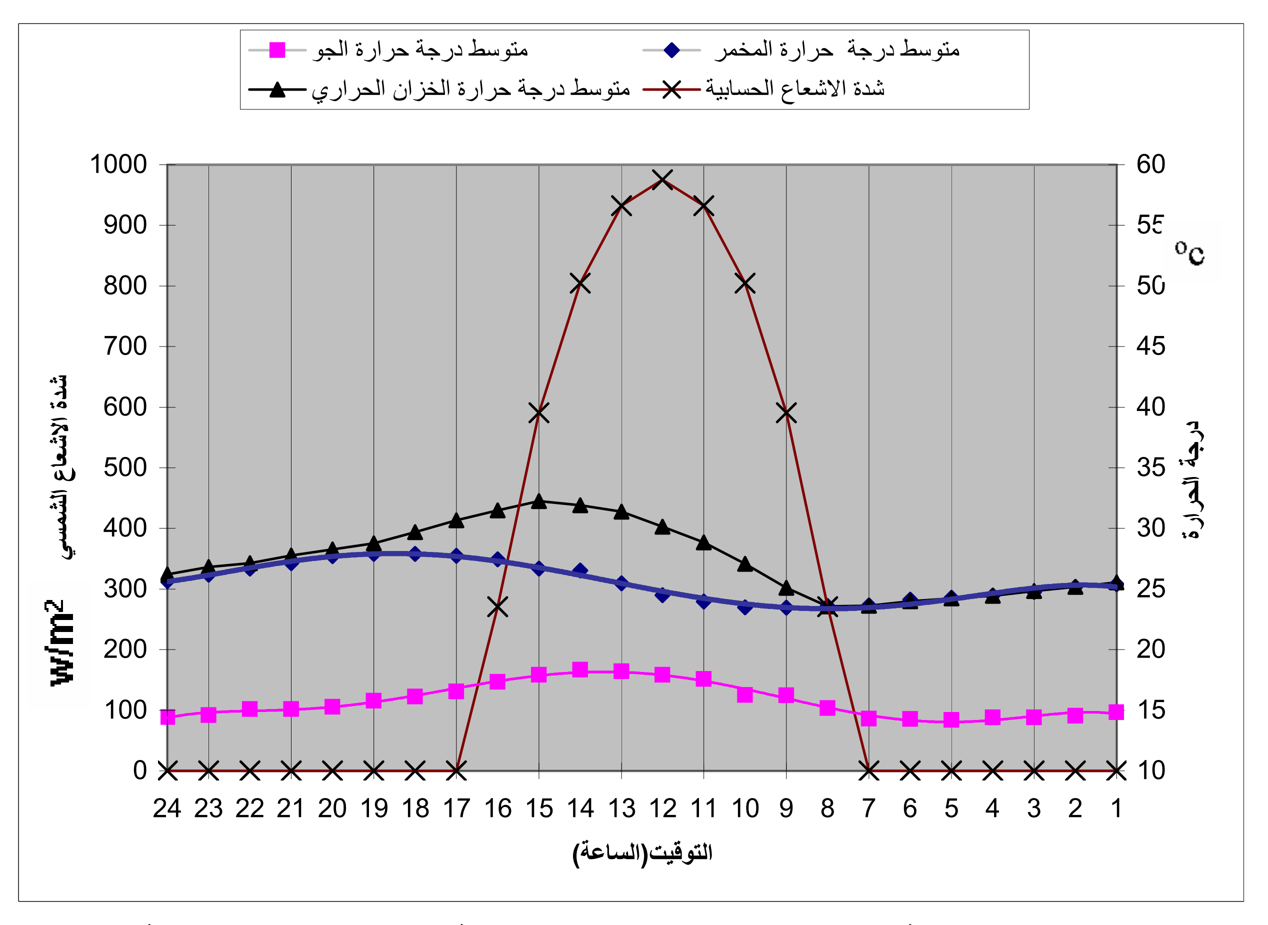
الشكل (4−18) درجة الحرارة الوسطية للخزان الحراري خلال 24 ساعة للتجربة (1)

وبتحليل المخطط (4−18) نجد اخفض درجة حرارة للخزان الحراري تكون عند الساعة الثامنة صباحاً وهي 23.6 °C ثم تبدأ درجة حرارة الخزان الحراري بالارتفاع حتى الساعة الثالثة بعد الظهر حيث تصل لأعلى درجة حرارة وهي 32.2 °C بحيث تكون درجة متوسط درجة حرارة الخزان خلال هذه الفترة هي 28.1 °C.

4−3−2−5 درجات الحرارة الوسطية لكل من المخمر والجو الخارجي والخزان الحراري مع الكسب الحراري الشمسي :

يبين الشكل (4−19) تغير درجة حرارة المخمر والخزان الحراري مع درجة حرارة الوسط الخارجي، حيث نلاحظ شبه انطباق مابين درجة حرارة المخمر ودرجة حرارة الخزان الحراري من الساعة السابعة ليلاً حتى الساعة الثامنة صباحاً لتزداد درجة حرارة الخزان الحراري، وتصبح أعلى من درجة حرارة المخمر من الساعة الثامنة حتى الساعة السابعة مساءً.

الكسب الحراري الشمسي[23] خلال 11 يوماً من التجربة مبين بالجدول (4−13) وذلك عند زاوية ميل 45°.



الشكل (4−19) تغير درجة حرارة المخمر والخزان الحراري مع درجة حرارة الجو الخارجي للتجربة (1)

الجدول (4−13) الكسب الحراري الشمسي المحسوب $G\ W/m^2$ خلال 11 يوم من التجربة

المتوسط	ك2 5	ك2 4	ك2 3	ك2 2	ك2 1	ك1 31	ك1 30	ك1 29	ك1 28	ك1 27	ك1 26	التوقيت
Eglob,k	Eglob,k	Eglob,k	Eglob,k	Eglob,k	Eglob,k	Eglob,k	Eglob,k	Eglob,k	Eglob,k	Eglob,k	Eglob,k	
270.8	278.5	276.4	274.4	272.5	270.8	271.2	269.6	268.1	266.8	265.6	264.5	**8**
591.0	595.5	594.2	592.9	591.6	590.5	591.7	590.7	589.7	588.9	588.1	587.5	**9**
804.5	808.1	806.9	805.7	804.7	803.7	805.5	804.6	803.8	803.0	802.4	801.8	**10**
932.3	935.5	934.3	933.2	932.2	931.3	933.5	932.6	931.8	931.1	930.4	929.9	**11**
975.2	978.3	977.1	976.0	975.0	974.0	976.4	975.5	974.7	974.0	973.3	972.8	**12**
932.3	935.5	934.3	933.2	932.2	931.3	933.5	932.6	931.8	931.1	930.4	929.9	**13**
804.5	808.1	806.9	805.7	804.7	803.7	805.5	804.6	803.8	803.0	802.4	801.8	**14**
591.0	595.5	594.2	592.9	591.6	590.5	591.7	590.7	589.7	588.9	588.1	587.5	**15**
270.8	278.5	276.4	274.4	272.5	270.8	271.2	269.6	268.1	266.8	265.6	264.5	**16**
6172.6	**6213.6**	**6200.6**	**6188.4**	**6177.0**	**6166.4**	**6180.3**	**6170.5**	**6161.6**	**6153.5**	**6146.3**	**6140.1**	المجموع

يلاحظ من الشكل (4−19) أن درجة حرارة الخزان ترتفع في الساعة الثامنة، وهي لحظة بدء الكسب الحراري الشمسي، وتستمر بالارتفاع لتبلغ أعلى مستوى عند الساعة الثالثة، وتبدأ بالانخفاض مع انخفاض مستوى الإشعاع الشمسي وعند الساعة الخامسة بعد الظهر يتوقف الإشعاع الشمسي بشكل كامل.

تبدأ درجة حرارة المخمر بالارتفاع في الساعة الثامنة صباحاً أيضاً، وتستمر بالارتفاع حتى الساعة السادسة ليلاً لتبدأ بالانخفاض من جديد. أخفض درجة حرارة للمخمر في اليوم هي $23.556\ ^oC$ وأعلى درجة هي $27.911\ ^oC$ مقدار الارتفاع $4.355\ ^oC$. أعلى درجة لحرارة الوسط الخارجي تكون عند الساعة الواحدة بعد الظهر $18.33\ ^oC$ وأخفض درجة عند الساعة الخامسة صباحاً $14.2\ ^oC$، والنتائج مبينة بالجدول (4−14).

الجدول (4−14) يبين درجات الحرارة الدنيا والعليا للمخمر والخزان والجو مع مدة الإشعاع الشمسي

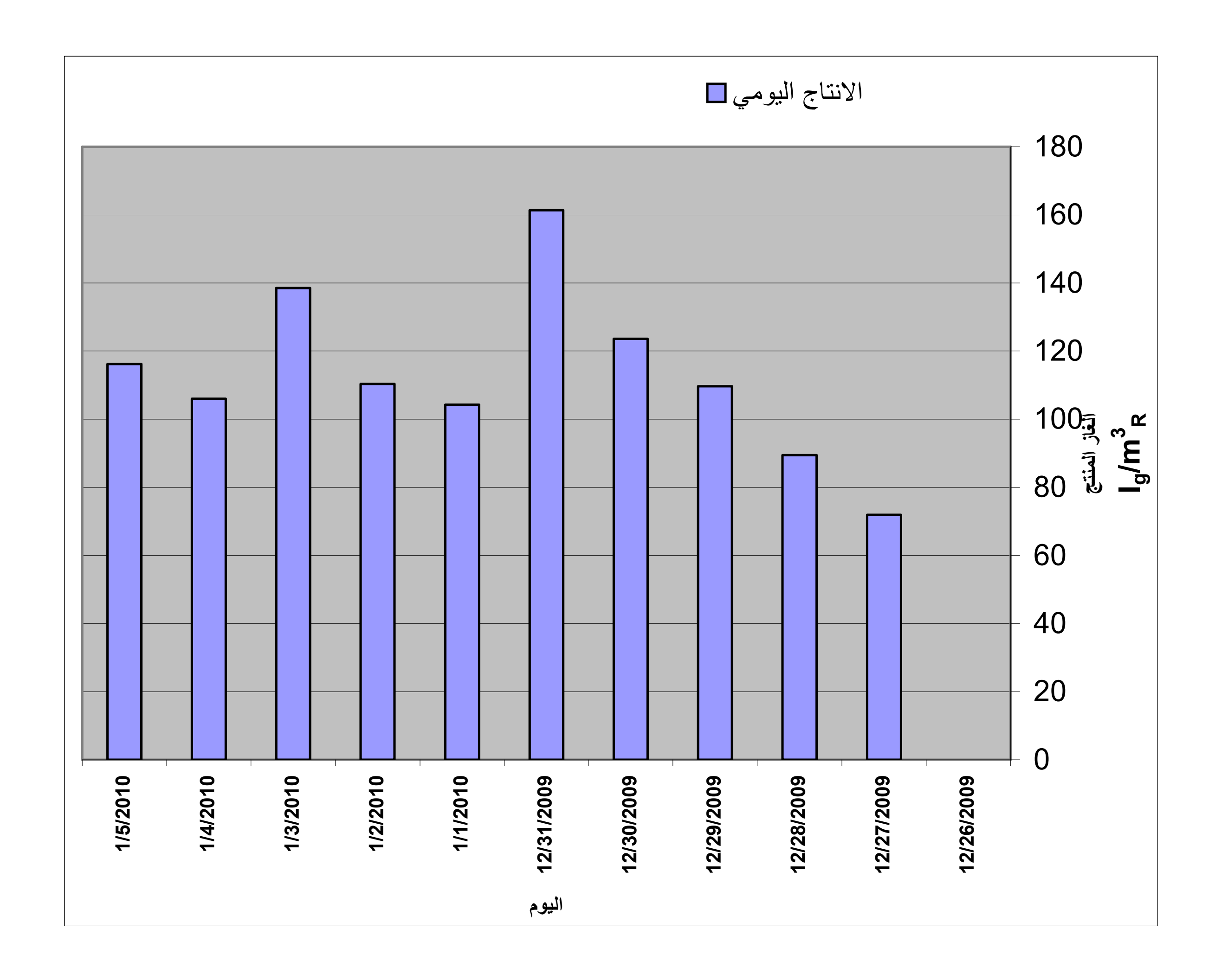
التجربة 1		
أعلى درجة حرارة ^oC − الساعة	أخفض درجة حرارة ^oC − الساعة	
18.33 − الساعة 13	14.2− الساعة 5	**درجة حرارة الجو**
27.91 − الساعة 19	23.5 − الساعة 8	**درجة حرارة المخمر**
32.2 − الساعة 15	23.6 − الساعة 8	**الخزان الحراري**
الساعة 8 ← الساعة 16		**الإشعاع الشمسي**

4−3−2−6 إنتاج الغاز :

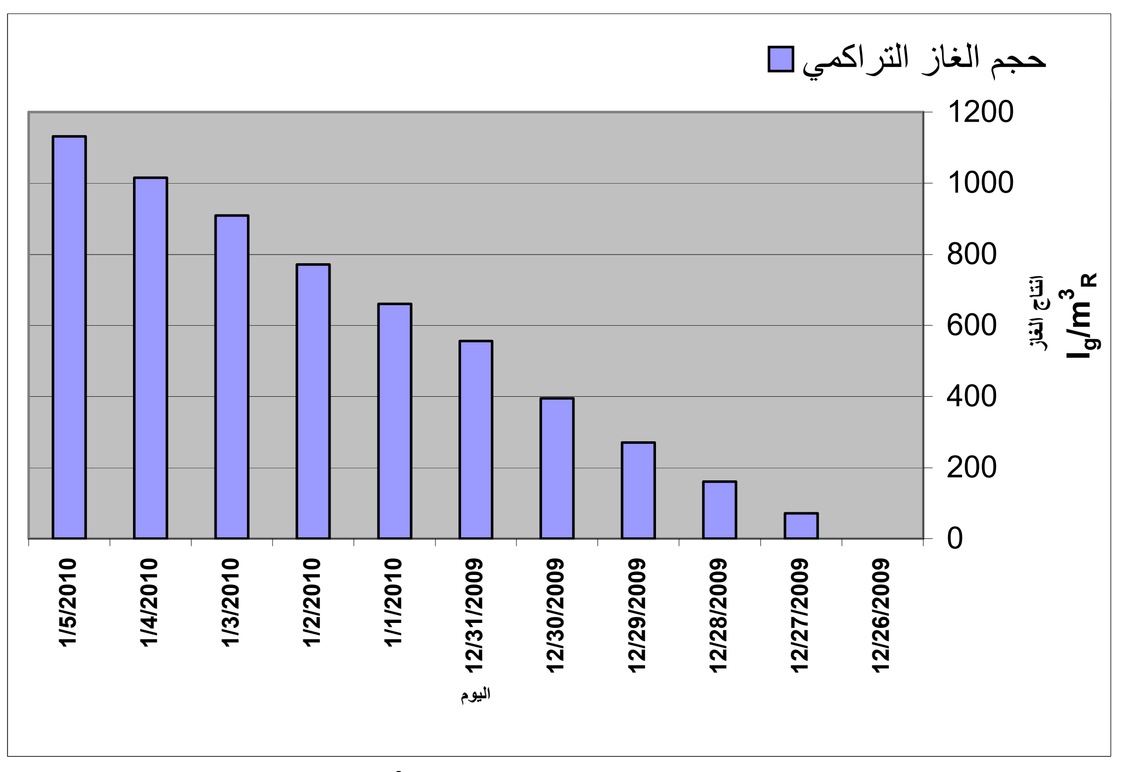
ويوضح الجدول (4−15) الإنتاج اليومي والإنتاج التراكمي للغاز الناتج بواحدة الليتر والإنتاج النوعي بواحدة (ليتر غاز لكل مترمكعب مادة مخمرة) $l_g/m^3{}_R$ كما يوضح الشكل(4−20) والشكل (4−21) الإنتاج اليومي التراكمي النوعي للغاز على التوالي للتجربة (1).

يوضح الجدول (4-15) قيم الإنتاج اليومي والتراكمي والإنتاج اليومي والتراكمي النوعي للغاز الحيوي خلال التجربة (1)

الإنتاج التراكمي النوعي الكلي $l_g/m^3{}_R$	الإنتاج اليومي النوعي $l_g/m^3{}_R$	الإنتاج التراكمي liter	الإنتاج اليومي liter	اليوم
0	0.00	0	0.00	26 كانون الأول
71.92	71.92	6.78	6.78	27 كانون الأول
161.41	89.49	15.21	8.43	28 كانون الأول
271.05	109.64	25.54	10.33	29 كانون الأول
394.67	123.62	37.19	11.65	30 كانون الأول
556.01	161.34	52.39	15.20	31 كانون الأول
660.32	104.31	62.22	9.83	01 كانون الثاني
770.72	110.40	72.62	10.40	02 كانون الثاني
909.2	138.48	85.67	13.05	03 كانون الثاني
1015.23	106.03	95.66	9.99	04 كانون الثاني
1131.42	116.19	106.61	10.95	05 كانون الثاني



الشكل (4-20) يوضح الإنتاج اليومي النوعي للغاز $l_g/m^3{}_R$ خلال التجربة (1)

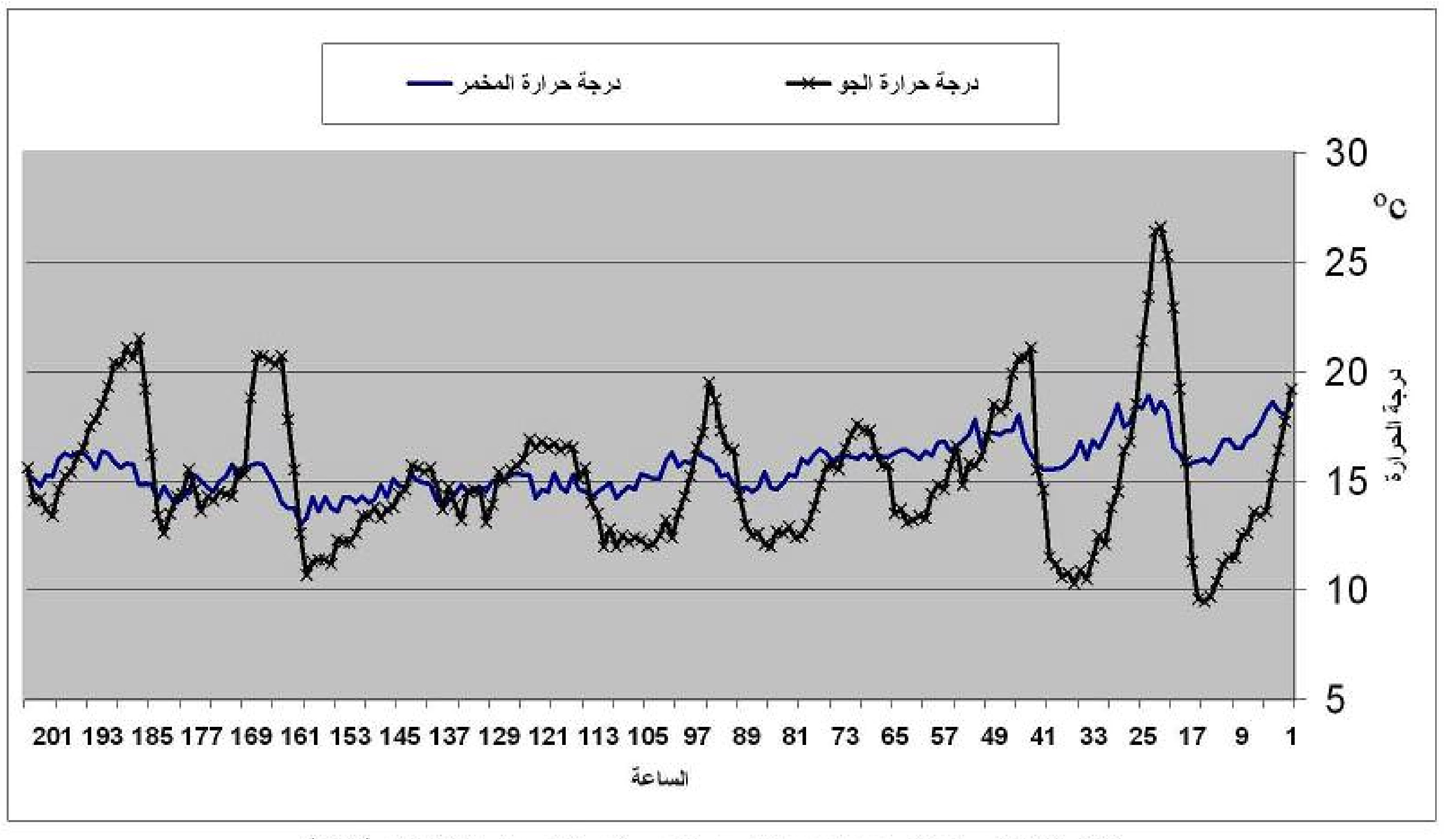


الشكل (4–21) يوضح الإنتاج التراكمي النوعي للغاز l_g/m^3_R خلال التجربة (1)

نلاحظ من المخطط (4–20) والمخطط (4–21) أن إنتاج الغاز قد بدا في اليوم الثاني، واستمر الإنتاج حتى وصل الإنتاج الكلي إلى $1131.41\ l_g/m^3_R$ وذلك بعد مرور 11 يوماً ضمن شروط درجة الحرارة السابقة.

4–3–3 التجربة الثانية :

بدأت التجربة الثانية في تمام الساعة الرابعة والنصف بعد الظهر بتاريخ 2010/1/9 واستمرت حتى تاريخ 2010/1/18 وذلك بعد فصل دارة التحكم ودارة الطاقة الشمسية (حيث تم فصل الخزان الحراري عن المخمر) والشكل (4–22) يوضح تغير درجات حرارة كل من المخمر والوسط الخارجي ضمن فترة التجربة، حيث تم أخذ قراءات إنتاج الغاز لمدة 11 يوماً حيث يلاحظ تذبذب درجة حرارة المخمر مابين $13\ ^oC$ حتى $18.9\ ^oC$ وهي درجة حرارة أقل من حالة وجود اللاقط الشمسي.



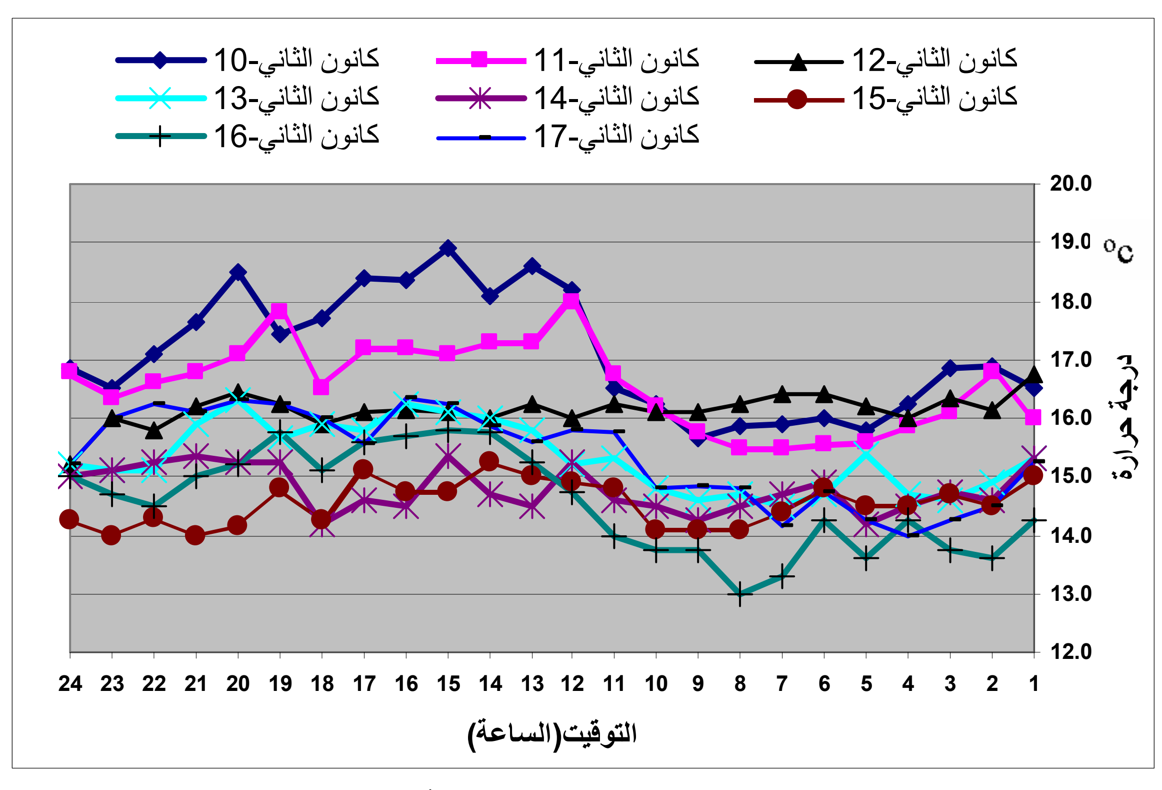
الشكل (4-22) يوضح تغير درجات حرارة كل من المخمر والجو الخارجي ضمن فترة التجربة الثانية

4–3–3–1 درجة حرارة المخمر:

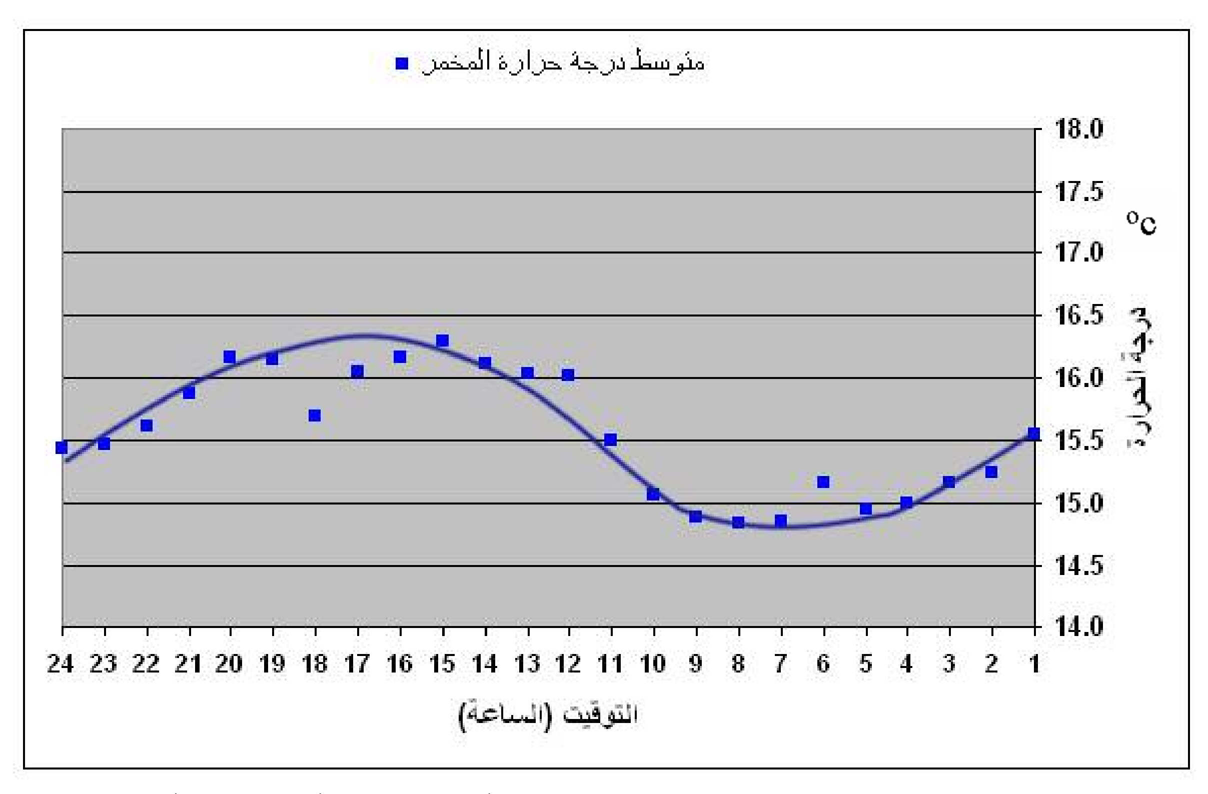
يبين الجدول (4–16) درجة حرارة المخمر خلال فترة التجربة مع المتوسط لكل ساعة من ساعات التجربة خلال 24 ساعة، ويبين الشكل (4–23)تغير درجة حرارة المخمر خلال أيام التجربة (2)، ويبين الشكل (4–24) مخطط تغير درجات حرارة المخمر الوسطية خلال 24 ساعة.

الجدول (4–16) درجة حرارة المخمر t_R (°C) مع متوسط درجة الحرارة لكل ساعة للتجربة(2)

متوسط °C	17/01	16/01	15/01	14/01	13/01	12/01	11/01	10/01	الساعة
15.5	15.3	14.3	15.0	15.3	15.3	16.8	16.0	16.5	**1**
15.2	14.5	13.6	14.5	14.6	14.9	16.2	16.8	16.9	**2**
15.2	14.3	13.8	14.7	14.8	14.6	16.4	16.1	16.9	**3**
15.0	14.0	14.3	14.5	14.5	14.7	16.0	15.9	16.3	**4**
14.9	14.3	13.6	14.5	14.2	15.4	16.2	15.6	15.8	**5**
15.2	14.8	14.3	14.8	14.9	14.7	16.4	15.6	16.0	**6**
14.9	14.2	13.3	14.4	14.7	14.5	16.4	15.5	15.9	**7**
14.8	14.8	13.0	14.1	14.5	14.7	16.3	15.5	15.9	**8**
14.9	14.9	13.8	14.1	14.3	14.6	16.1	15.8	15.7	**9**
15.1	14.8	13.8	14.1	14.5	14.8	16.1	16.2	16.3	**10**
15.5	15.8	14.0	14.8	14.6	15.3	16.3	16.8	16.5	**11**
16.0	15.8	14.8	14.9	15.3	15.2	16.0	18.0	18.2	**12**
16.0	15.6	15.3	15.0	14.5	15.8	16.3	17.3	18.6	**13**
16.1	15.9	15.8	15.3	14.7	16.0	16.0	17.3	18.1	**14**
16.3	16.3	15.8	14.8	15.4	16.1	16.1	17.1	18.9	**15**
16.2	16.4	15.7	14.8	14.5	16.3	16.2	17.2	18.4	**16**
16.0	15.6	15.6	15.1	14.6	15.8	16.1	17.2	18.4	**17**
15.7	16.0	15.1	14.3	14.2	15.9	15.9	16.5	17.7	**18**
16.2	16.3	15.8	14.8	15.3	15.7	16.3	17.8	17.5	**19**
16.2	16.3	15.2	14.2	15.3	16.3	16.5	17.1	18.5	**20**
15.9	16.1	15.0	14.0	15.4	15.9	16.2	16.8	17.7	**21**
15.6	16.3	14.5	14.3	15.3	15.1	15.8	16.6	17.1	**22**
15.5	16.0	14.7	14.0	15.1	15.1	16.0	16.4	16.5	**23**
15.4	15.2	15.0	14.3	15.0	15.2	15.2	16.8	16.9	**24**



الشكل (4-23)تغير درجة حرارة المخمر خلال أيام التجربة (2)



الشكل (4-24) مخطط تغير درجات حرارة المخمر الوسطية خلال 24 ساعة خلال التجربة (2)

ومن المخطط (4−24) نلاحظ أن أخفض درجة حرارة للمخمر تكون عند الساعة السابعة صباحاً وهي 14.8 ^{o}C، وأعلى درجة حرارة عند الساعة الخامسة ظهراً وهي 16.3 ^{o}C.

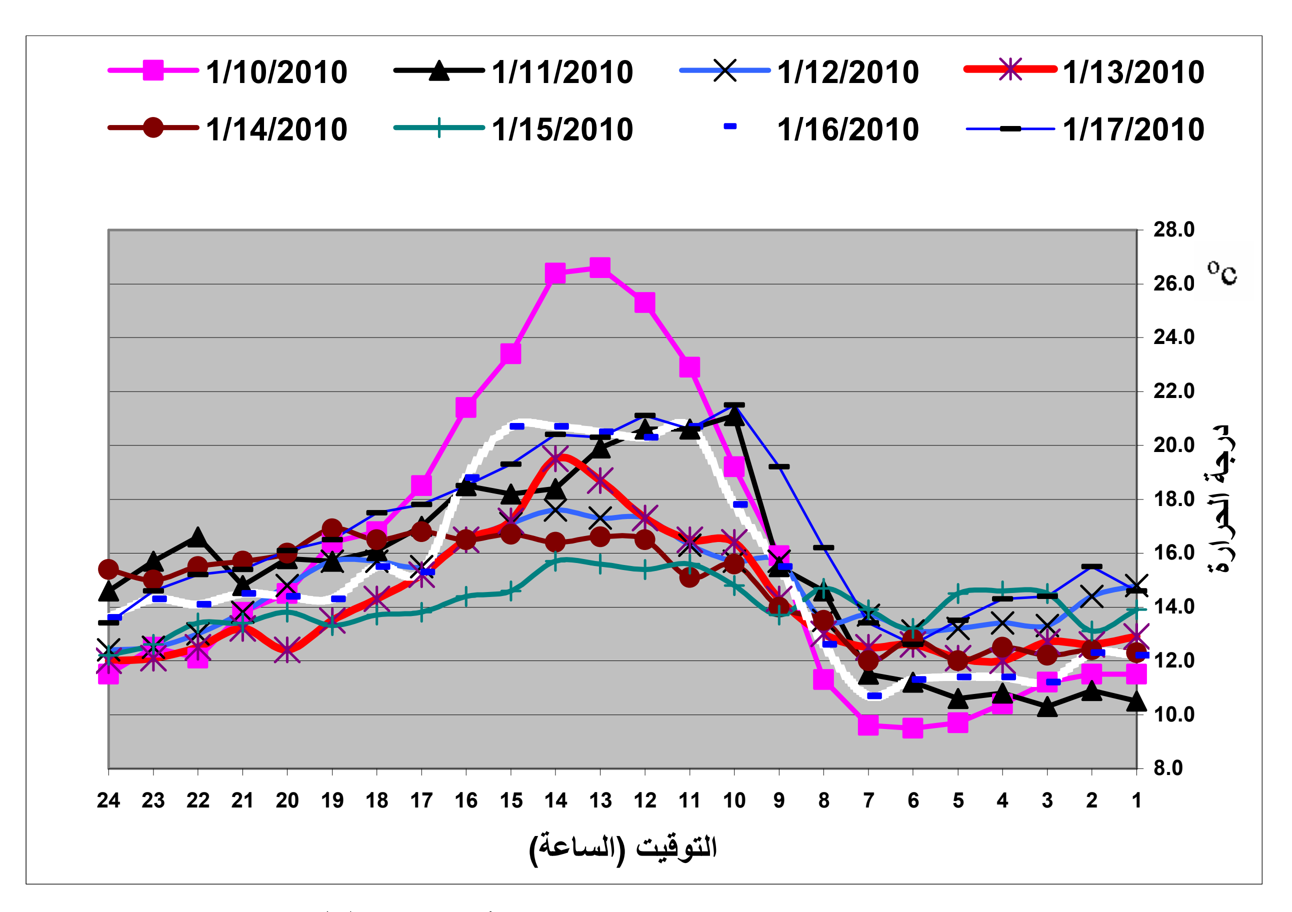
4−3−3−2 درجة حرارة الجو:

ويوضح الجدول (4−17) درجات حرارة الجو الخارجي خلال أيام التجربة مع متوسط هذه الدرجات في كل ساعة

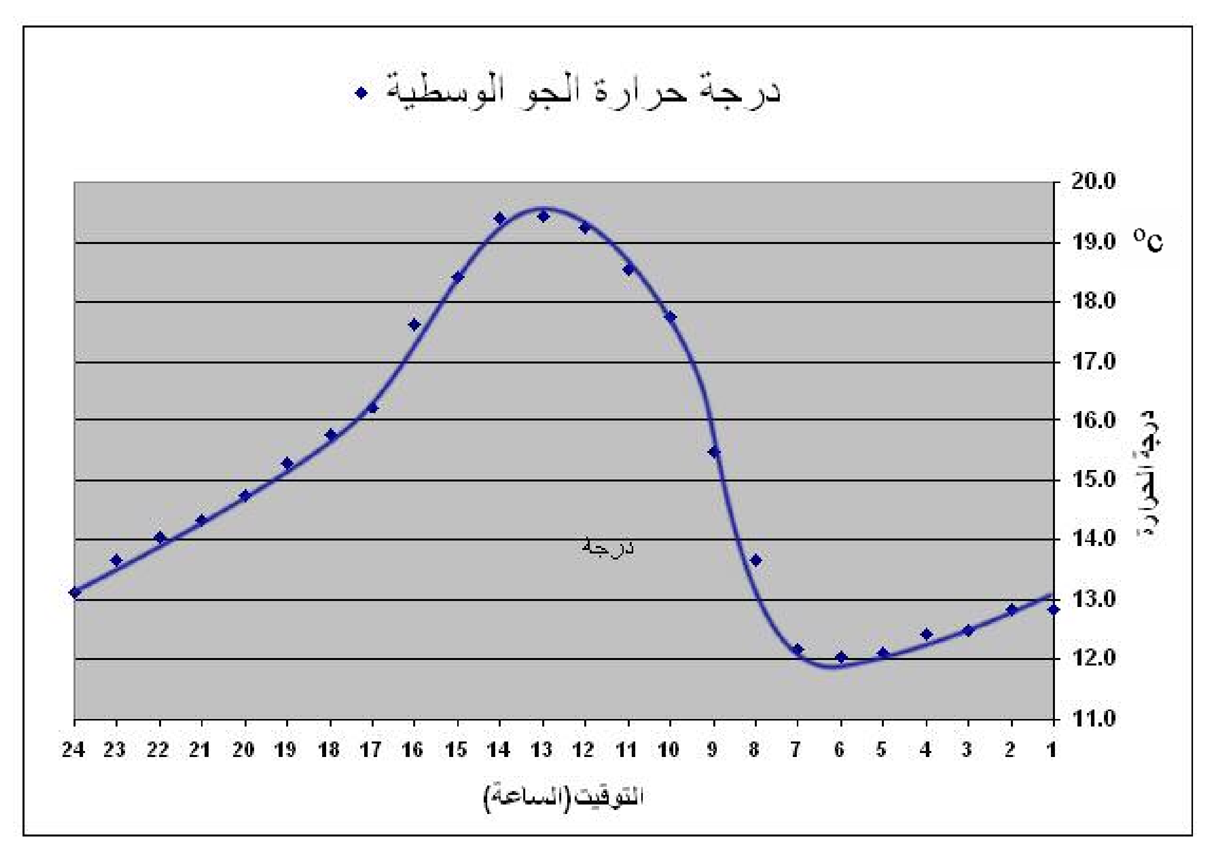
الجدول (4−17) درجة حرارة الجو الخارجي t_a (^{o}C) مع متوسط درجة الحرارة لكل ساعة للتجربة (2)

الساعة	10/01	11/01	12/01	13/01	14/01	15/01	16/01	17/01	المتوسط ^{o}C
1	11.5	10.5	14.8	12.9	12.3	13.9	12.2	14.6	12.8
2	11.5	10.9	14.4	12.6	12.4	13.1	12.3	15.5	12.8
3	11.2	10.3	13.3	12.7	12.2	14.5	11.2	14.4	12.5
4	10.4	10.8	13.4	12.0	12.5	14.6	11.4	14.3	12.4
5	9.7	10.6	13.2	12.1	12.0	14.5	11.4	13.5	12.1
6	9.5	11.2	13.1	12.6	12.8	13.2	11.3	12.6	12.0
7	9.6	11.5	13.7	12.5	12.0	13.9	10.7	13.4	12.2
8	11.3	14.6	13.5	13.0	13.5	14.7	12.6	16.2	13.7
9	15.9	15.5	15.7	14.3	14.0	13.7	15.5	19.2	15.5
10	19.2	21.1	15.7	16.4	15.6	14.8	17.8	21.5	17.8
11	22.9	20.6	16.3	16.5	15.1	15.6	20.7	20.6	18.5
12	25.3	20.6	17.3	17.3	16.5	15.4	20.3	21.1	19.2
13	26.6	19.9	17.3	18.7	16.6	15.6	20.5	20.3	19.4
14	26.4	18.4	17.6	19.5	16.4	15.7	20.7	20.4	19.4
15	23.4	18.2	17.1	17.2	16.7	14.6	20.7	19.3	18.4
16	21.4	18.5	16.5	16.5	16.5	14.4	18.8	18.5	17.6
17	18.5	17.0	15.5	15.2	16.8	13.8	15.3	17.8	16.2
18	16.8	16.1	15.7	14.3	16.5	13.7	15.5	17.5	15.8
19	16.4	15.7	15.7	13.5	16.9	13.3	14.3	16.5	15.3
20	14.5	15.8	14.8	12.4	16.0	13.8	14.4	16.1	14.7
21	13.8	14.8	13.8	13.2	15.7	13.4	14.5	15.4	14.3
22	12.1	16.6	13.0	12.5	15.5	13.4	14.1	15.2	14.1
23	12.5	15.7	12.5	12.1	15.0	12.6	14.3	14.6	13.7
24	11.5	14.6	12.4	12.0	15.4	12.2	13.6	13.4	13.1

الشكل (4−25) والشكل (4−26) يبين تغير درجة حرارة الجو خلال أيام التجربة مع المتوسط الحسابي لساعات أيام التجربة على التوالي.



الشكل (4−25) تغير درجات حرارة الجو خلال أيام التجربة (2)



الشكل (4−26) درجة حرارة الجو الوسطية خلال التجربة (2)

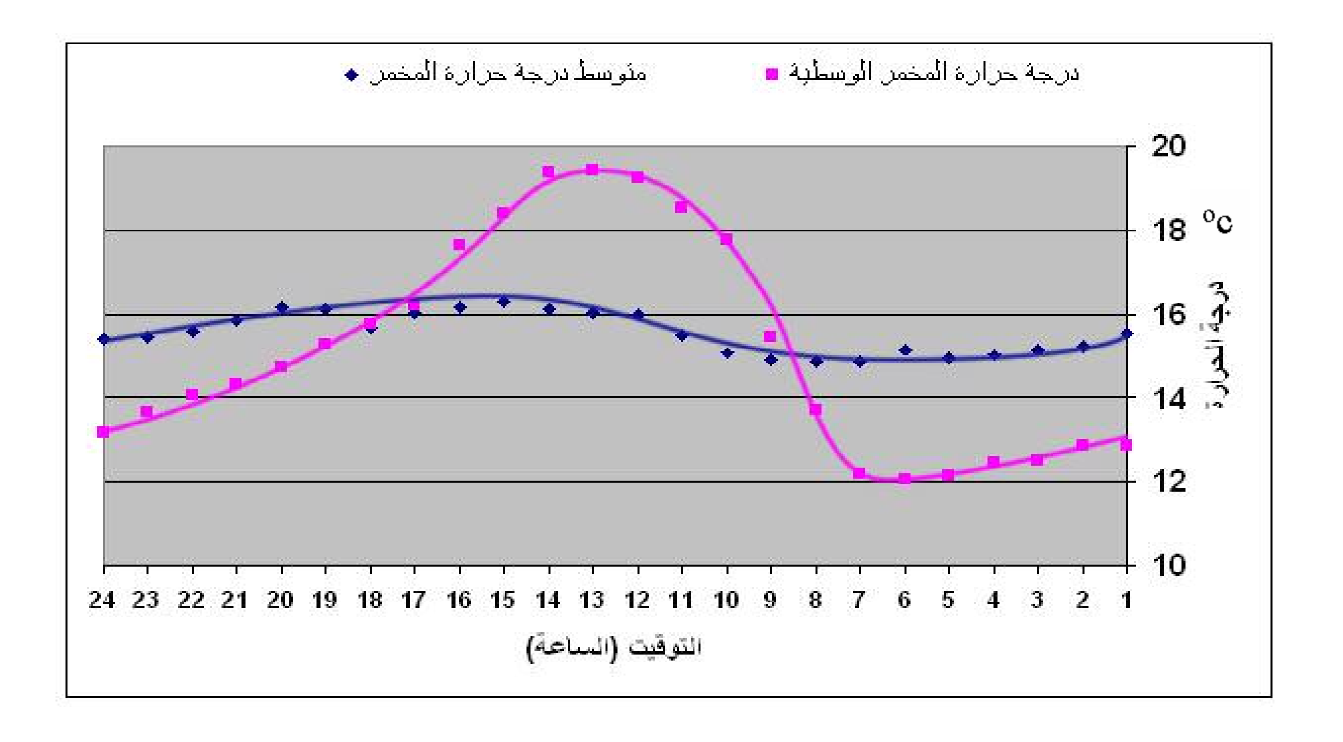
من الشكل (4-26) نلاحظ أن أخفض درجة حرارة للجو الخارجي تكون في الساعة السادسة وهي 11.8 °C، وأعلى درجة حرارة تكون عند الساعة الواحدة بعد الظهر وهي 19.4 °C .

4-3-3-3 درجات الحرارة الوسطية لكل من المخمر والجو الخارجي:

من الشكل (4-27) نلاحظ أن درجة حرارة المخمر شبه ثابتة وهي محصورة ما بين 14.8 و 16.3 °C وهي تنصف خط درجة حرارة الجو الخارجي الذي يتأرجح مابين 11.8 و19.4 °C بحركة شبه جيبية. ويوضح الجدول (4-18) درجات الحرارة الدنيا والعليا للمخمر والجو خلال 24 ساعة للتجربة (2).

الجدول (4-18) بين درجات الحرارة الدنيا والعليا للتجربة (2)

	التجربة 2	
	أخفض درجة حرارة °C - الساعة	أعلى درجة حرارة °C - الساعة
درجة حرارة الجو	12- الساعة 6	19.4 – الساعة 13
درجة حرارة المخمر	14.8 – الساعة 8	16.3 – الساعة 15



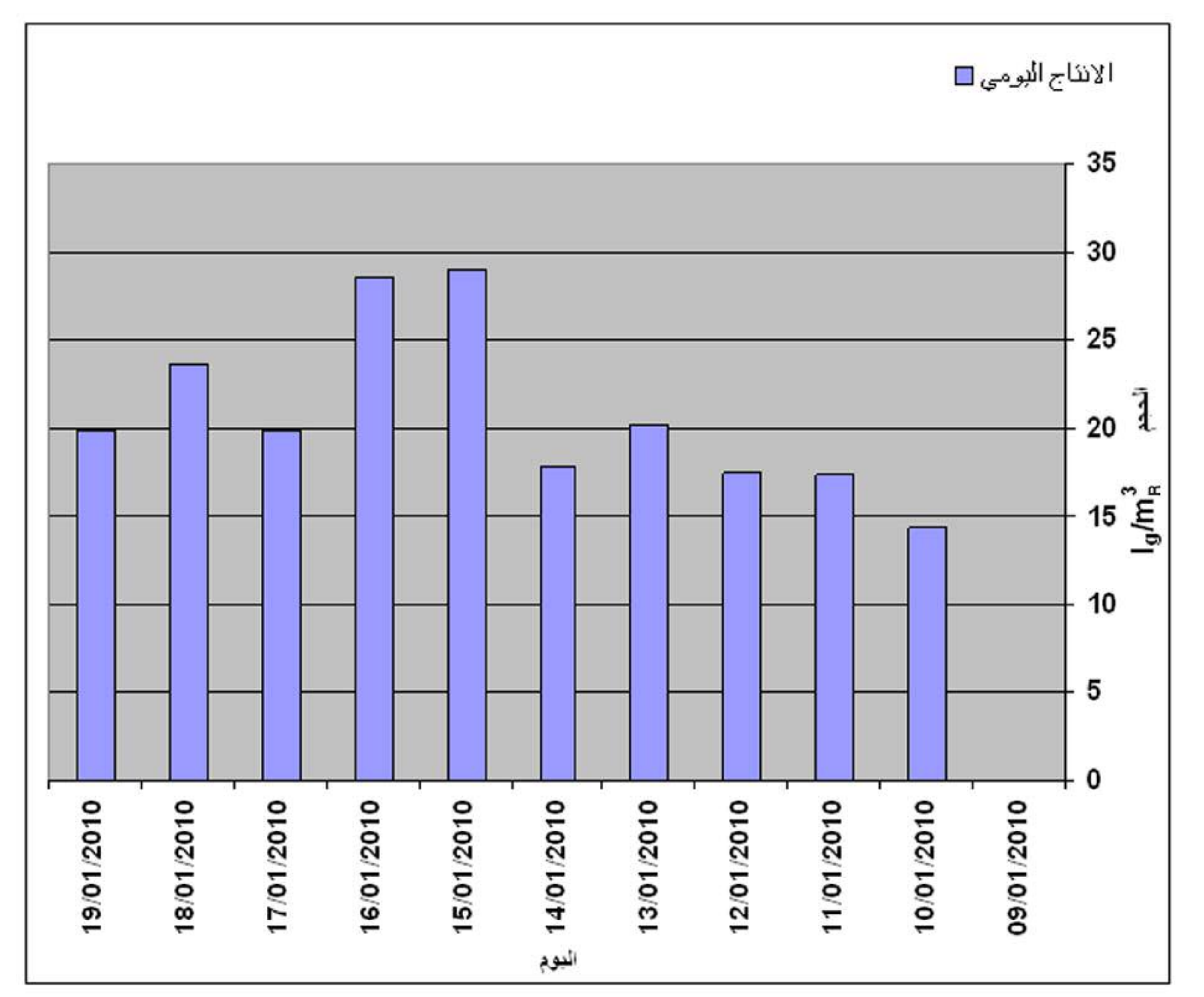
الشكل (4-27) درجة حرارة الجو والمخمر الوسطية خلال التجربة (2)

4-3-3-4 إنتاج الغاز :

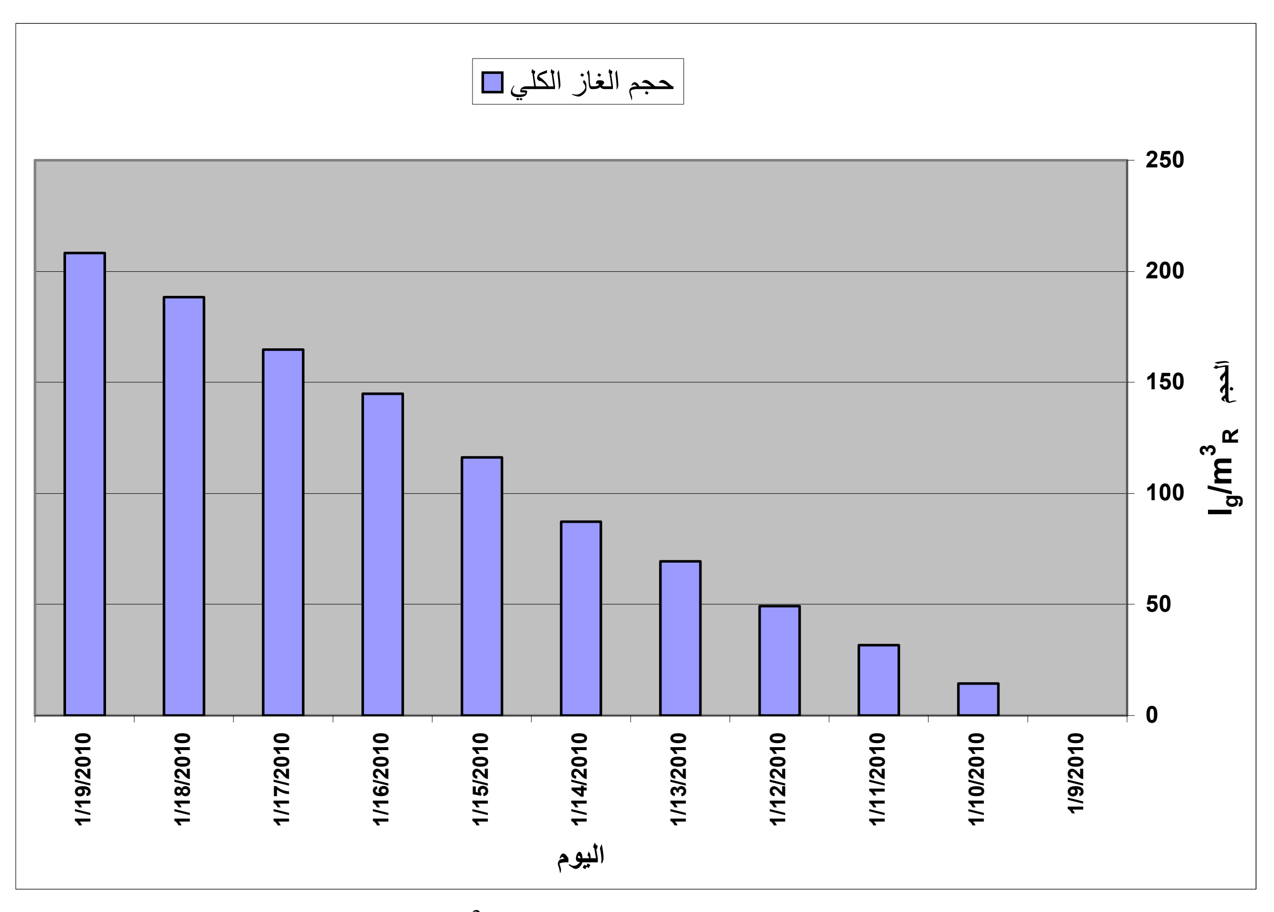
ويوضح الجدول (4-19) الإنتاج اليومي والإنتاج التراكمي بواحدة الليتر والإنتاج اليومي والتراكمي النوعي للغاز بواحدة l_g/m^3_R كما يوضح الشكل (4-28) والشكل (4-29) الإنتاج اليومي والإنتاج التراكمي النوعي للغاز على التوالي.

يوضح الجدول (4−19) قيم الإنتاج اليومي والكلي خلال التجربة (2)

اليوم	الإنتاج اليومي liter	الإنتاج التراكمي liter	الإنتاج اليومي النوعي l_g/m^3_R	الإنتاج التراكمي الكلي النوعي l_g/m^3_R
الثاني كانون-09	0.00	0	0.00	0
الثاني كانون-10	1.35	1.35	14.35	14.35
الثاني كانون-11	1.63	2.98	17.34	31.69
الثاني كانون-12	1.65	4.63	17.47	49.16
الثاني كانون-13	1.91	6.54	20.28	69.44
الثاني كانون-14	1.68	8.22	17.81	87.25
الثاني كانون-15	2.73	10.95	28.98	116.23
الثاني كانون-16	2.69	13.64	28.58	144.81
الثاني كانون-17	1.88	15.52	19.90	164.71
الثاني كانون-18	2.23	17.75	23.67	188.38
الثاني كانون-19	1.88	19.63	19.93	208.31



الشكل (4−28) يوضح الإنتاج اليومي النوعي للغاز l_g/m^3_R خلال التجربة (2)



الشكل (4−29) يوضح الإنتاج التراكمي النوعي للغاز $l_g/m^3{}_R$ خلال التجربة (2)

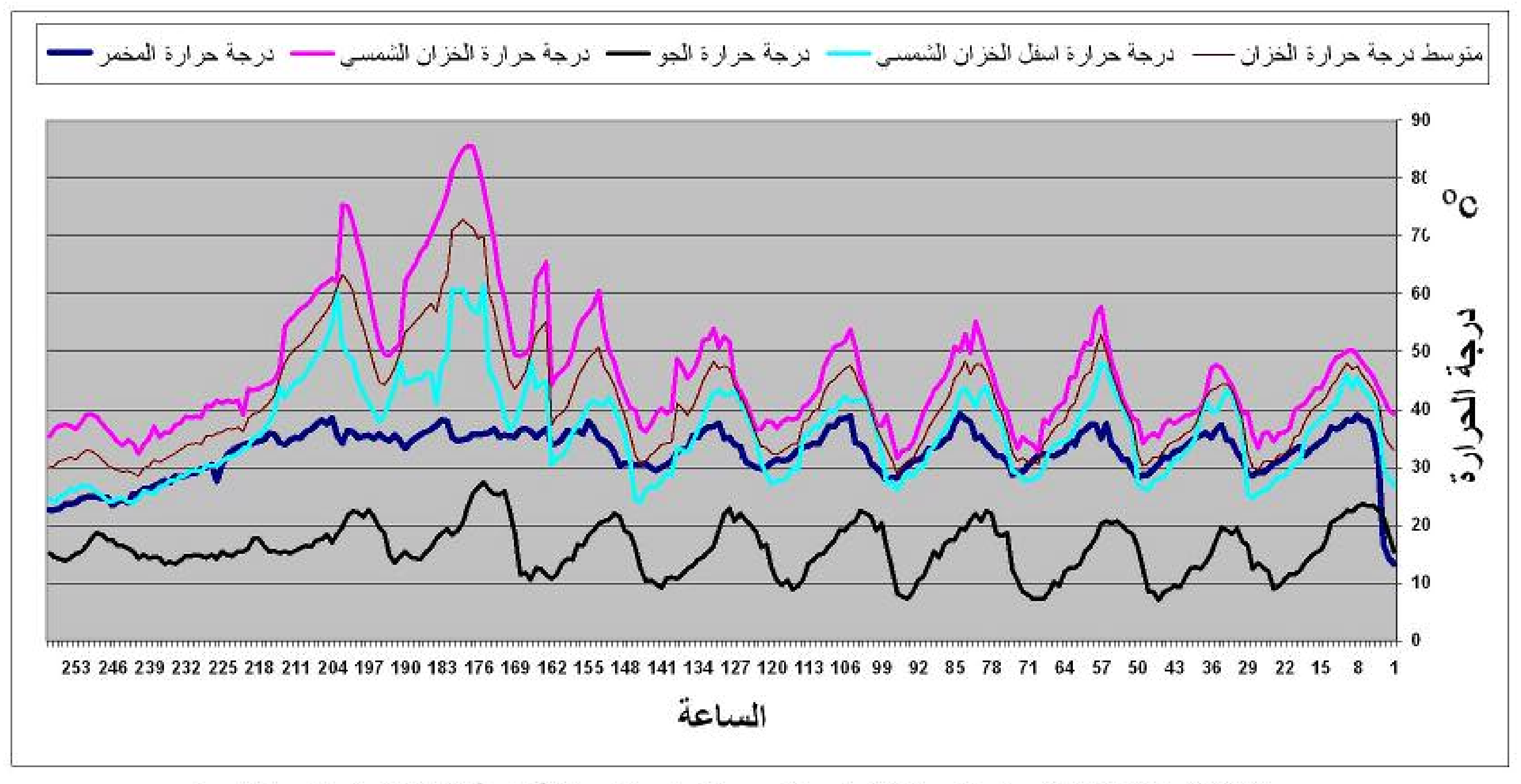
4−3−4 التجربة الثالثة :

بدأت التجربة في تمام الساعة السابعة صباحاً من 17 آذار وحتى 27 آذار 2010 وتم تعيير دارة التحكم كما يلي :

1− تم تعيير الحساس الخاص بالمخمر على الدرجة 33 ^oC حيث يتم فصل المضخة عندما تصل درجة حرارة المخمر إلى هذه الدرجة.

2− يعير الحساس الخاص بالخزان الحراري على الدرجة 37 ^oC. حيث تتوقف المضخة عندما تنخفض درجة الحرارة عن هذه الدرجة.

يبين الشكل (4−30) خطوط تغير درجات حرارة المخمر والجو مع تغير درجات حرارة أعلى وأسفل الخزان الحراري والمتوسط مابين أعلى وأسفل الخزان الحراري.



الشكل (4– 30) خطوط تغير درجات حرارة المخمر والجو مع تغير درجات حرارة أعلى وأسفل الخزان الحراري والمتوسط مابين أعلى وأسفل الخزان الحراري

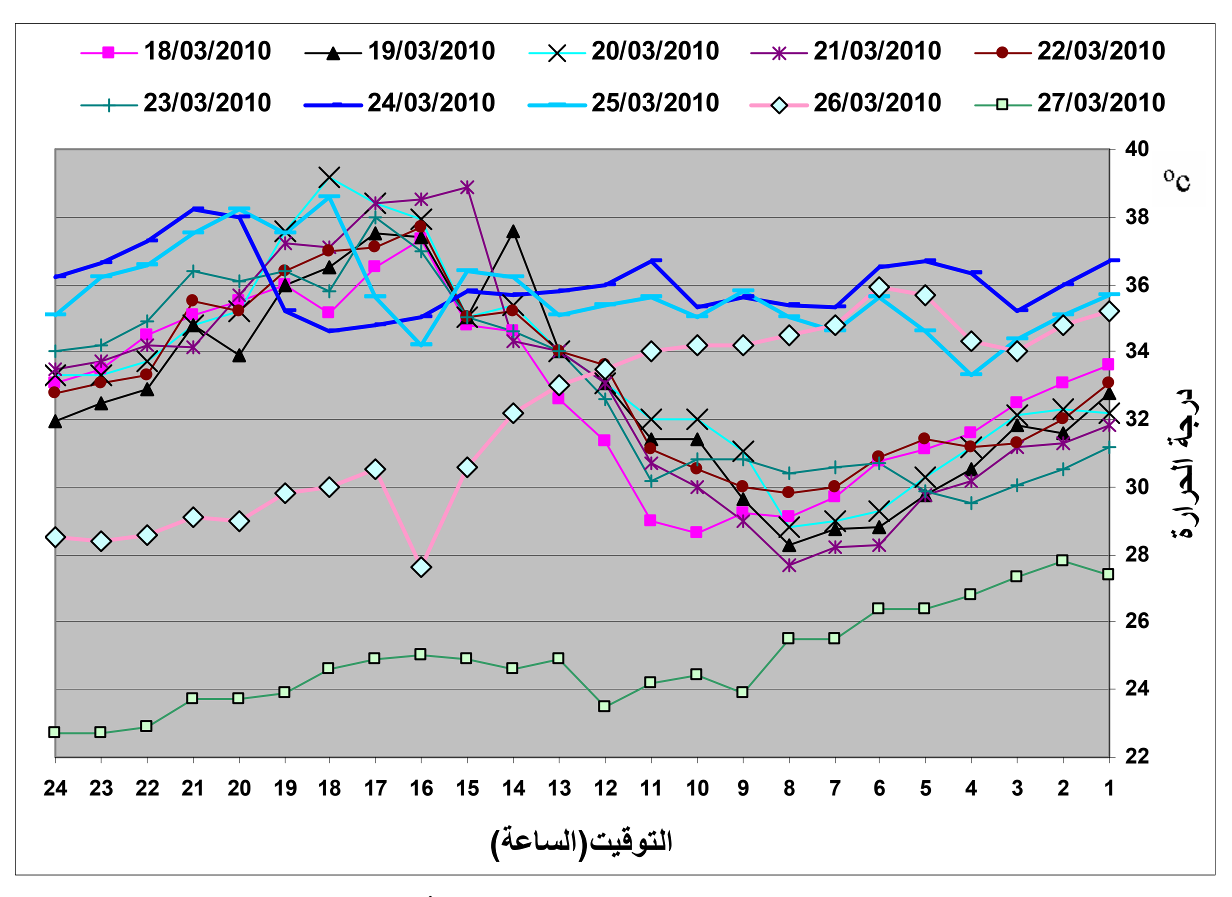
4-3-4-1 درجة حرارة المخمر:

ويوضح الجدول (4-20) درجات حرارة المخمر خلال 24 ساعة طول مدة التجربة مع متوسط هذه الدرجات في كل ساعة

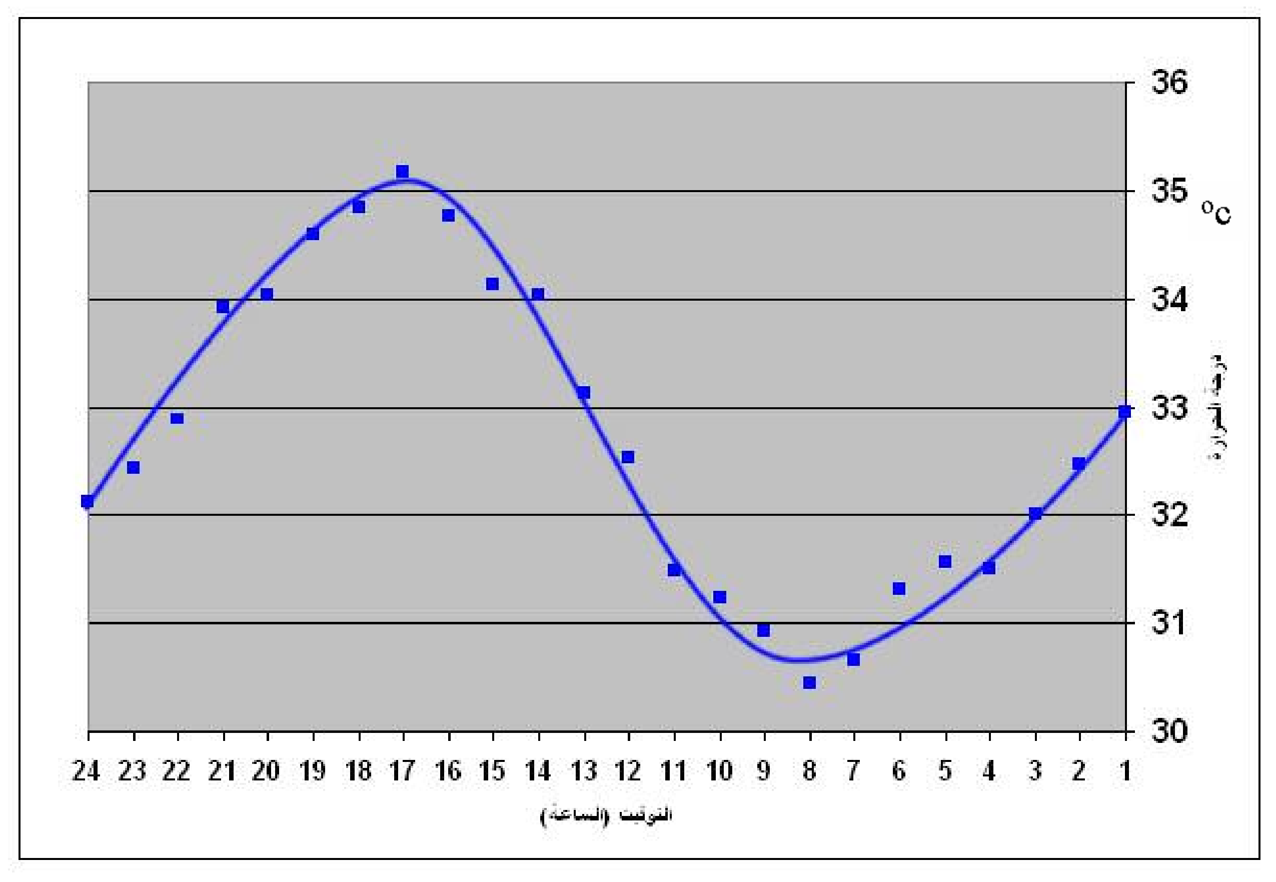
الجدول (4-20) درجات الحرارة الوسطية للمخمر t_R (^oC) خلال فترة التجربة خلال 24 ساعة مع المتوسط لساعات أيام التجربة

المتوسط ^oC	27/03	26/03	25/03	24/03	23/03	22/03	21/03	20/03	19/03	18/03	الساعة
33.0	27.4	35.2	35.7	36.7	31.2	33.1	31.8	32.2	32.8	33.6	**1**
32.5	27.8	34.8	35.1	36.0	30.5	32.0	31.3	32.3	31.6	33.1	**2**
32.0	27.3	34.0	34.4	35.2	30.0	31.3	31.2	32.1	31.9	32.5	**3**
31.5	26.8	34.3	33.3	36.3	29.5	31.2	30.2	31.2	30.6	31.6	**4**
31.6	26.4	35.7	34.6	36.7	29.9	31.4	29.8	30.3	29.8	31.1	**5**
31.3	26.4	35.9	35.6	36.5	30.7	30.9	28.3	29.3	28.8	30.8	**6**
30.6	25.5	34.8	34.6	35.3	30.6	30.0	28.2	29.0	28.8	29.7	**7**
30.4	25.5	34.5	35.0	35.4	30.4	29.8	27.7	28.8	28.3	29.1	**8**
30.9	23.9	34.2	35.8	35.6	30.8	30.0	29.0	31.1	29.7	29.2	**9**
31.2	24.4	34.2	35.0	35.3	30.8	30.5	30.0	32.0	31.4	28.7	**10**
31.5	24.2	34.0	35.6	36.7	30.2	31.1	30.7	32.0	31.4	29.0	**11**
32.5	23.5	33.5	35.4	36.0	32.6	33.6	33.1	33.1	33.1	31.4	**12**
33.1	24.9	33.0	35.1	35.8	34.0	34.0	34.0	34.0	34.0	32.6	**13**
34.0	24.6	32.2	36.2	35.7	34.6	35.2	34.3	35.4	37.6	34.6	**14**
34.1	24.9	30.6	36.4	35.8	35.0	35.0	38.9	35.0	35.0	34.8	**15**
34.8	25.0	27.6	34.2	35.0	37.0	37.7	38.5	37.9	37.4	37.4	**16**
35.2	24.9	30.5	35.6	34.8	38.0	37.1	38.4	38.4	37.5	36.5	**17**
34.9	24.6	30.0	38.6	34.6	35.8	37.0	37.1	39.2	36.5	35.2	**18**
34.6	23.9	29.8	37.5	35.2	36.4	36.4	37.2	37.6	36.0	36.0	**19**
34.0	23.7	29.0	38.2	38.0	36.1	35.2	35.7	35.2	33.9	35.5	**20**
33.9	23.7	29.1	37.5	38.2	36.4	35.5	34.1	34.8	34.8	35.1	**21**
32.9	22.9	28.6	36.6	37.3	34.9	33.3	34.2	33.8	32.9	34.5	**22**
32.4	22.7	28.4	36.2	36.6	34.2	33.1	33.7	33.3	32.5	33.5	**23**
32.1	22.7	28.5	35.1	36.2	34.0	32.8	33.5	33.3	32.0	33.1	**24**

ويبين الشكل (4-31) والشكل (4-32) خطوط تغير درجة الحرارة للمخمر لأيام التجربة مع المتوسط لساعات أيام التجربة



الشكل (4-31) تغير درجة حرارة المخمر خلال أيام التجربة (3)



الشكل (4-32) تغير درجة حرارة المخمر الوسطية خلال 24 ساعة تجربة (3)

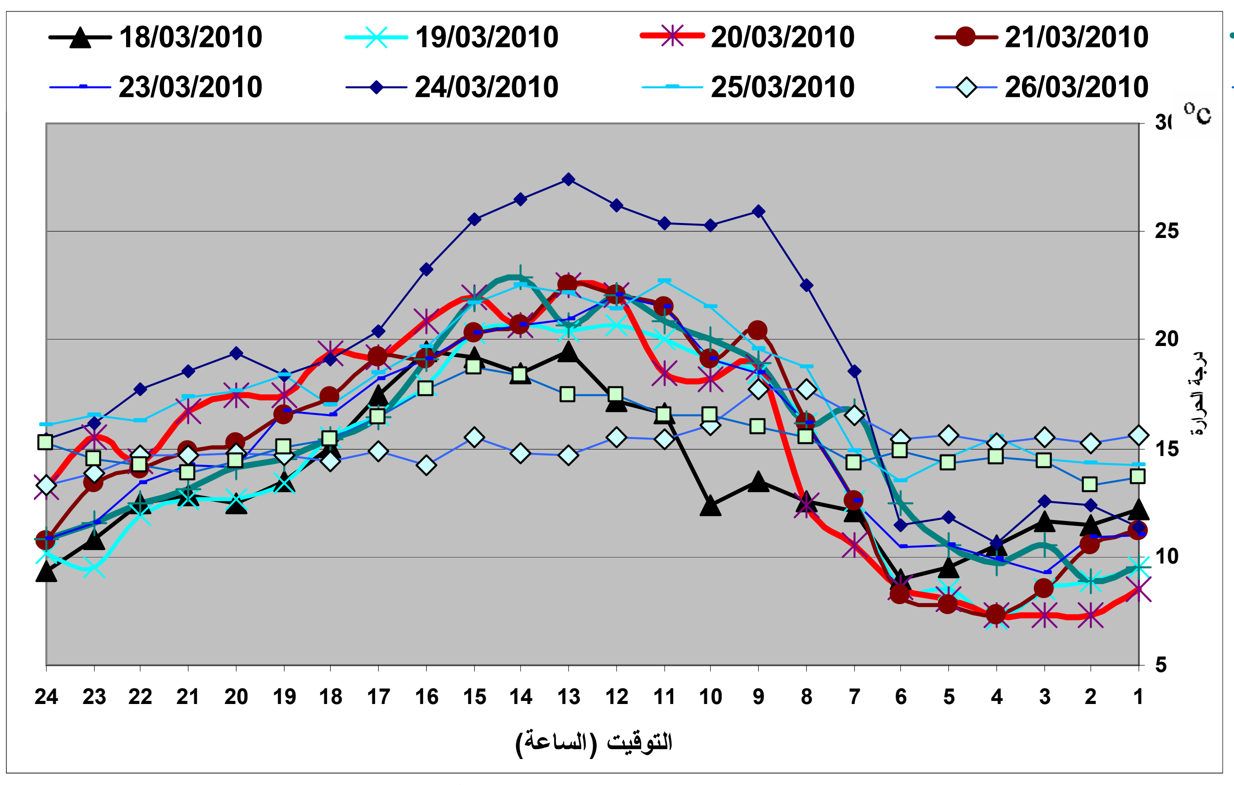
4-3-4-2 درجة حرارة الجو الخارجي:

ويوضح الجدول (4-21) درجات حرارة الجو الخارجي خلال أيام التجربة مع متوسط هذه الدرجات في كل ساعة.

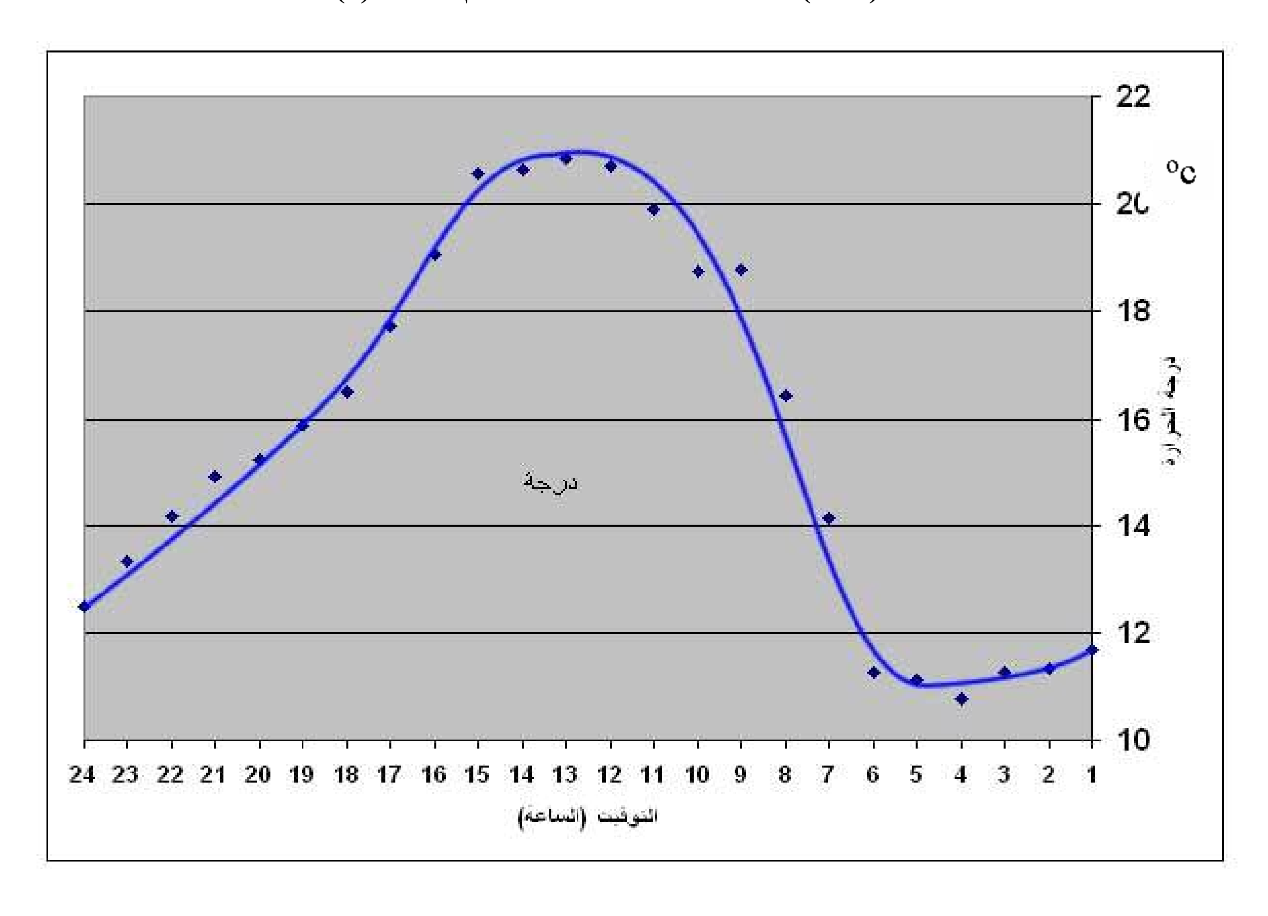
الجدول (4-21) درجة حرارة الجو t_a (^oC) للتجربة (3) مع متوسط درجة الحرارة لكل ساعة

الساعة	18/03	19/03	20/03	21/03	22/03	23/03	24/03	25/03	26/03	27/03	المتوسط
1	12.2	9.5	8.5	11.2	9.5	11.0	11.4	14.2	15.6	13.7	**11.7**
2	11.5	8.9	7.3	10.5	8.9	10.9	12.4	14.3	15.2	13.3	**11.3**
3	11.6	8.5	7.3	8.5	10.5	9.2	12.6	14.5	15.5	14.4	**11.3**
4	10.5	7.1	7.3	7.3	9.7	9.9	10.6	15.5	15.2	14.6	**10.8**
5	9.5	8.5	8.0	7.8	10.5	10.5	11.8	14.6	15.6	14.3	**11.1**
6	9.0	8.6	8.6	8.2	12.5	10.4	11.5	13.5	15.4	14.9	**11.3**
7	12.1	12.6	10.5	12.6	16.7	12.6	18.6	14.9	16.5	14.3	**14.1**
8	12.6	16.2	12.4	16.2	16.2	16.2	22.5	18.7	17.7	15.5	**16.4**
9	13.5	18.5	18.7	20.4	18.9	18.5	25.9	19.6	17.7	16.0	**18.8**
10	12.4	19.1	18.2	19.1	20.0	19.1	25.3	21.5	16.1	16.5	**18.7**
11	16.6	20.0	18.5	21.5	20.9	21.5	25.4	22.7	15.4	16.5	**19.9**
12	17.2	20.7	22.1	22.1	22.1	22.1	26.2	21.4	15.5	17.5	**20.7**
13	19.5	20.4	22.5	22.5	20.7	21.0	27.4	22.2	14.7	17.5	**20.8**
14	18.5	20.7	20.7	20.7	22.9	20.7	26.5	22.5	14.8	18.4	**20.6**
15	19.2	20.3	22.0	20.3	21.9	20.3	25.6	21.7	15.5	18.7	**20.6**
16	19.5	17.9	20.9	19.1	19.1	19.1	23.3	19.7	14.2	17.7	**19.1**
17	17.5	16.5	19.2	19.2	16.4	18.2	20.4	18.5	14.9	16.4	**17.7**
18	15.1	15.5	19.4	17.4	15.4	16.5	19.1	17.0	14.4	15.4	**16.5**
19	13.5	13.4	17.5	16.5	14.5	16.7	18.4	18.4	14.7	15.1	**15.9**
20	12.5	12.7	17.5	15.2	14.1	14.1	19.4	17.6	14.8	14.4	**15.2**
21	12.8	12.7	16.7	14.9	13.1	14.2	18.6	17.4	14.7	13.9	**14.9**
22	12.5	11.9	14.4	14.0	12.5	13.4	17.7	16.3	14.7	14.2	**14.2**
23	10.8	9.5	15.5	13.4	11.6	11.6	16.2	16.5	13.9	14.5	**13.3**
24	9.3	10.2	13.2	10.7	10.8	10.8	15.4	16.1	13.3	15.2	**12.5**

يبين الشكل (4-33) والشكل (4-34) خطوط تغير درجة الحرارة الجو لأيام التجربة مع المتوسط لساعات أيام التجربة (3).



الشكل (4-33) تغير درجة حرارة الجو خلال أيام التجربة (3)



الشكل (4−34) تغير درجة حرارة الجو الوسطية للتجربة (3)

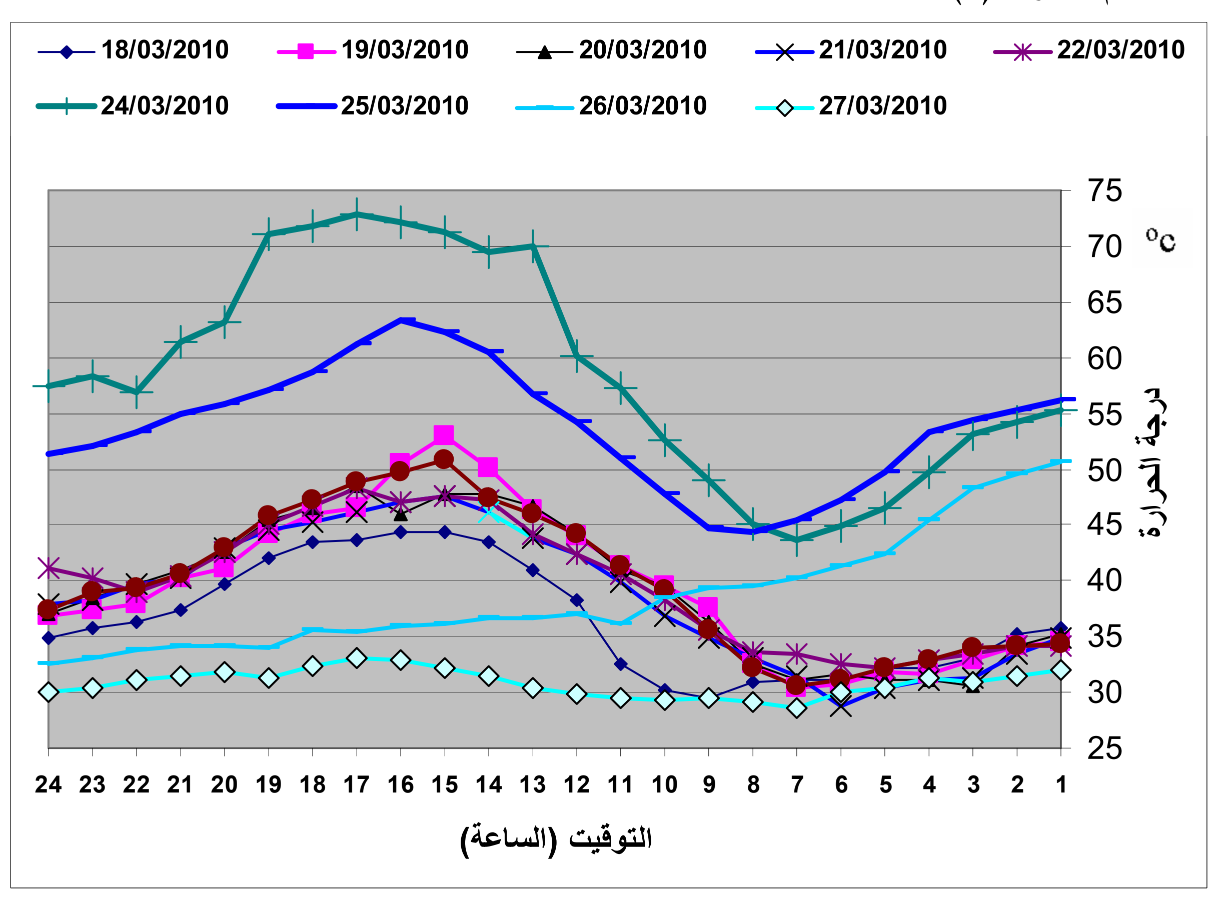
4-3-4-3 درجة حرارة الخزان الحراري:

ويوضح الجدول (4-22) درجات حرارة الخزان الحراري خلال أيام التجربة (3) مع متوسط هذه الدرجات في كل ساعة.

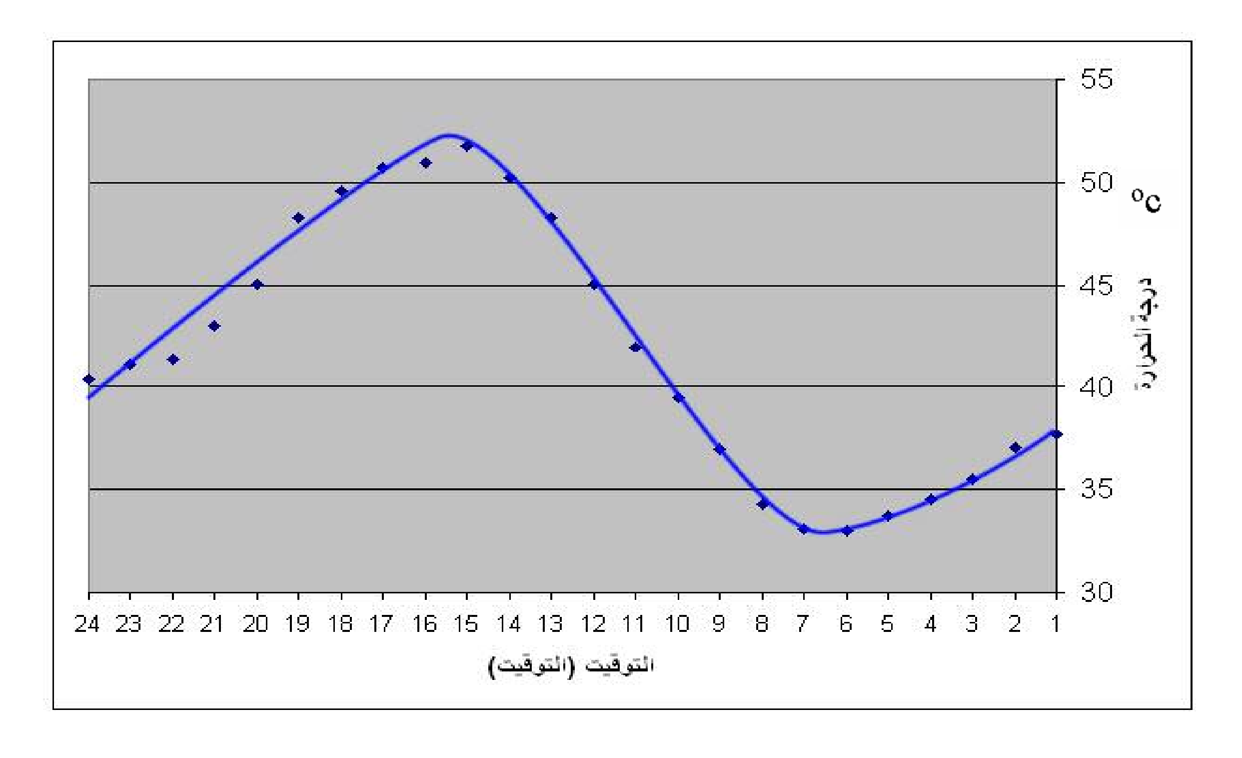
الجدول (4-22) درجة حرارة الخزان الحراري(^oC) t_m في التجربة(3) مع متوسط درجة الحرارة لكل ساعة

المتوسط	27/03	26/03	25/03	24/03	23/03	22/03	21/03	20/03	19/03	18/03	الساعة
37.7	31.9	50.6	56.3	55.3	34.4	34.1	34.8	35.2	34.6	35.7	**1**
37.0	31.5	49.6	55.3	54.2	34.2	34.1	33.4	34.1	34.1	35.3	**2**
35.5	31.0	48.3	54.4	53.1	34.0	33.5	31.3	30.6	32.9	33.2	**3**
34.5	31.3	45.5	53.3	49.7	33.0	32.8	31.2	31.1	31.7	32.3	**4**
33.7	30.4	42.5	49.8	46.5	32.2	32.3	30.3	31.1	31.8	32.2	**5**
33.0	30.0	41.3	47.3	44.9	31.2	32.5	28.9	31.7	30.7	31.1	**6**
33.1	28.5	40.3	45.5	43.6	30.5	33.5	31.4	31.1	30.4	31.2	**7**
34.3	29.1	39.5	44.3	45.2	32.2	33.7	33.1	32.6	32.5	31.0	**8**
36.9	29.4	39.4	44.8	49.0	35.7	35.7	34.9	36.4	37.6	29.5	**9**
39.4	29.3	38.5	47.8	52.7	39.1	38.3	36.9	39.5	39.5	30.2	**10**
42.0	29.5	36.2	51.1	57.3	41.3	40.6	39.9	41.0	41.3	32.5	**11**
45.1	29.9	37.0	54.2	60.1	44.2	42.4	42.4	44.1	44.0	38.2	**12**
48.3	30.5	36.6	56.8	70.1	46.1	44.2	43.9	46.7	46.4	41.0	**13**
50.2	31.4	36.7	60.6	69.5	47.4	47.2	46.2	47.8	50.1	43.5	**14**
51.8	32.3	36.1	62.2	71.3	50.8	47.6	47.7	47.8	52.9	44.4	**15**
51.0	32.9	36.0	63.3	72.1	49.8	47.1	47.1	46.1	50.5	44.4	**16**
50.7	33.0	35.4	61.3	72.9	48.8	48.4	46.2	48.4	46.5	43.7	**17**
49.6	32.4	35.6	58.7	71.8	47.3	46.8	45.3	46.5	46.1	43.4	**18**
48.3	31.4	34.0	57.1	71.1	45.7	45.1	44.6	45.5	44.2	42.1	**19**
45.0	31.8	34.2	55.9	63.2	43.0	42.6	43.0	42.6	41.2	39.7	**20**
43.0	31.4	34.1	54.9	61.4	40.6	40.5	40.2	40.9	40.3	37.3	**21**
41.3	31.2	33.8	53.3	56.9	39.4	39.1	39.7	39.8	38.0	36.3	**22**
41.1	30.4	33.1	52.2	58.4	38.9	40.2	38.3	38.4	37.5	35.8	**23**
40.3	30.1	32.5	51.3	57.5	37.4	41.1	37.9	37.0	36.8	34.9	**24**

يبين الشكل (4-35) والشكل (4-36) خطوط تغير درجة الحرارة للجو لأيام التجربة مع المتوسط لساعات أيام التجربة (3).



الشكل (4-35) تغير درجة حرارة الخزان الحراري خلال أيام التجربة (3)



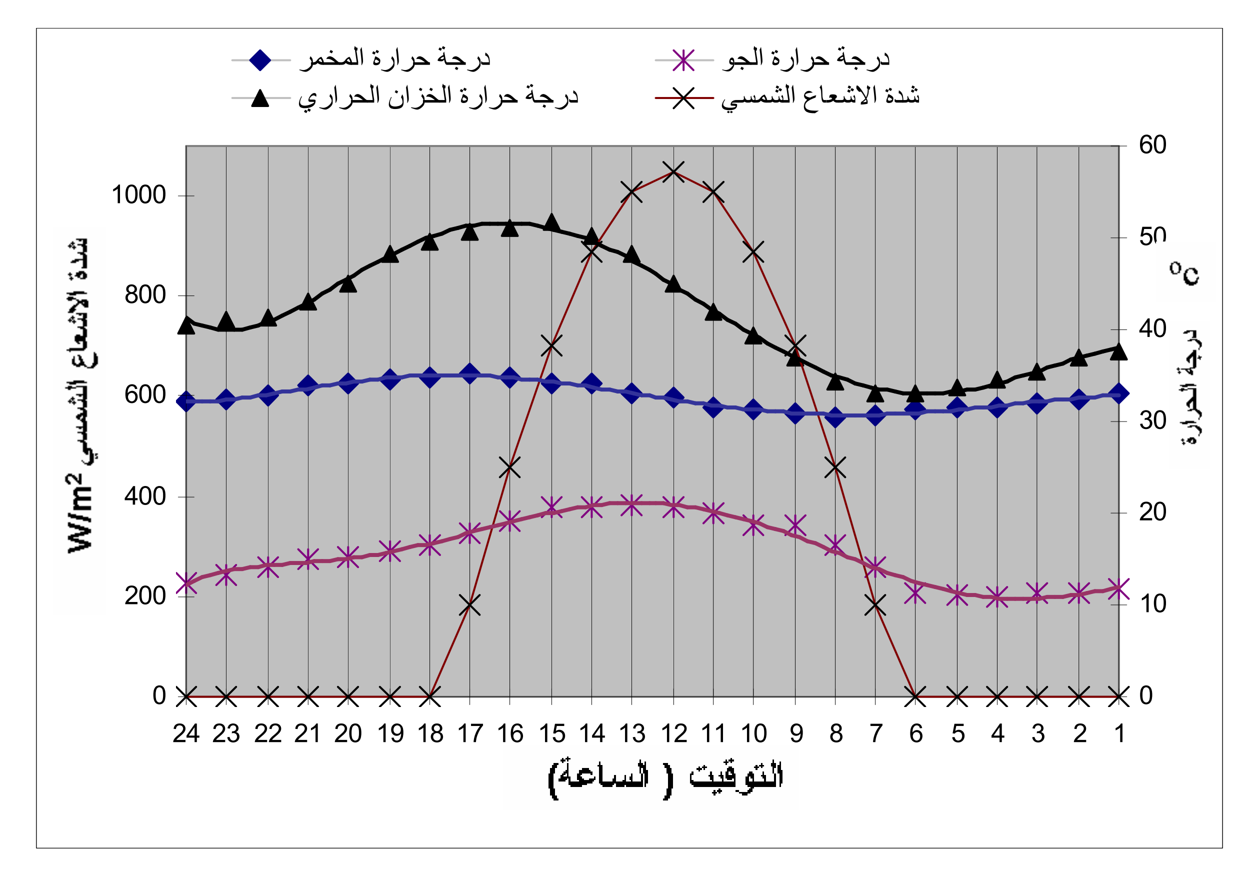
الشكل (4-36) تغير درجة حرارة الخزان الحراري الوسطية لأيام التجربة (3)

4-3-4-4 درجات الحرارة الوسطية لكل من المخمر والجو الخارجي والخزان الحراري :

الكسب الحراري الشمسي خلال 11 يوم من التجربة مبين بالجدول (4-23) وذلك عند زاوية ميل 45^o يبين الشكل (4-37) تغير درجة حرارة المخمر والخزان والجو مع الكسب الحراري الشمسي المحسوب[23].

الجدول (4-23) الكسب الحراري الشمسي $G\ W/m^2$ خلال 11 يوم من التجربة

التوقيت	آذار 17	آذار 18	آذار 19	آذار 20	آذار 21	آذار 22	آذار 23	آذار 24	آذار 25	آذار 26	آذار 27	المتوسط
	Eglob,k	Eglob,k	Eglob,k	Eglob,k	Eglob,k	Eglob,k	Eglob,k	Eglob,k	Eglob,k	Eglob,k	Eglob,k	
7	174.3	176.7	179.0	181.2	183.2	185.2	187.1	188.9	190.7	192.3	193.8	184.8
8	454.5	455.6	456.7	457.7	458.7	459.6	460.4	461.1	461.8	462.5	463.1	459.2
9	700.1	700.7	701.3	701.8	702.2	702.6	702.9	703.1	703.3	703.5	703.5	702.3
10	889.3	889.7	890.0	890.3	890.5	890.6	890.6	890.6	890.5	890.4	890.2	890.3
11	1008.5	1008.7	1008.9	1009.1	1009.1	1009.1	1009.0	1008.9	1008.7	1008.4	1008.1	1008.8
12	1049.1	1049.4	1049.5	1049.6	1049.6	1049.6	1049.5	1049.3	1049.0	1048.7	1048.3	1049.3
13	1008.5	1008.7	1008.9	1009.1	1009.1	1009.1	1009.0	1008.9	1008.7	1008.4	1008.1	1008.8
14	889.3	889.7	890.0	890.3	890.5	890.6	890.6	890.6	890.5	890.4	890.2	890.3
15	700.1	700.7	701.3	701.8	702.2	702.6	702.9	703.1	703.3	703.5	703.5	702.3
16	454.5	455.6	456.7	457.7	458.7	459.6	460.4	461.1	461.8	462.5	463.1	459.2
17	174.3	176.7	179.0	181.2	183.2	185.2	187.1	188.9	190.7	192.3	193.8	184.8
المجموع	**7502.5**	**7512.3**	**7521.3**	**7529.6**	**7537.0**	**7543.7**	**7549.6**	**7554.7**	**7559.1**	**7562.8**	**7565.7**	**7539.9**



الشكل (4-37) تغير درجة حرارة المخمر والخزان الحراري مع درجة حرارة الجو الخارجي في التجربة(3)

نلاحظ من الشكل (4−37) أن أخفض درجة حرارة للخزان هي $33.1\ ^{o}C$ عند الساعة السابعة، وهي لحظة بدء الكسب الحراري الشمسي، وتستمر بالارتفاع لتبلغ أعلى مستوى عند الساعة الثالثة $51.8\ ^{o}C$ وتبدأ بالانخفاض مع انخفاض مستوى الإشعاع الشمسي وعند الساعة الخامسة يتوقف الإشعاع الشمسي بشكل كامل.تبدأ درجة حرارة المخمر بالارتفاع في الساعة السابعة أيضا درجة حرارة المخمر عندها $30.4\ ^{o}C$ وتستمر بالارتفاع حتى الساعة الخامسة ليلاً إلى الدرجة $35.2\ ^{o}C$ لتبدأ بالانخفاض من جديد.
أخفض درجة لحرارة للجو الخارجي عند الساعة الرابعة صباحاً $10.8\ ^{o}C$ وأعلى درجة عند الساعة الواحدة بعد الظهر $20.8\ ^{o}C$ والنتائج مبينة بالجدول (4−24).

الجدول (4−24) يبين درجات الحرارة الدنيا والعليا للمخمر والخزان والجو مع مدة الإشعاع الشمسي

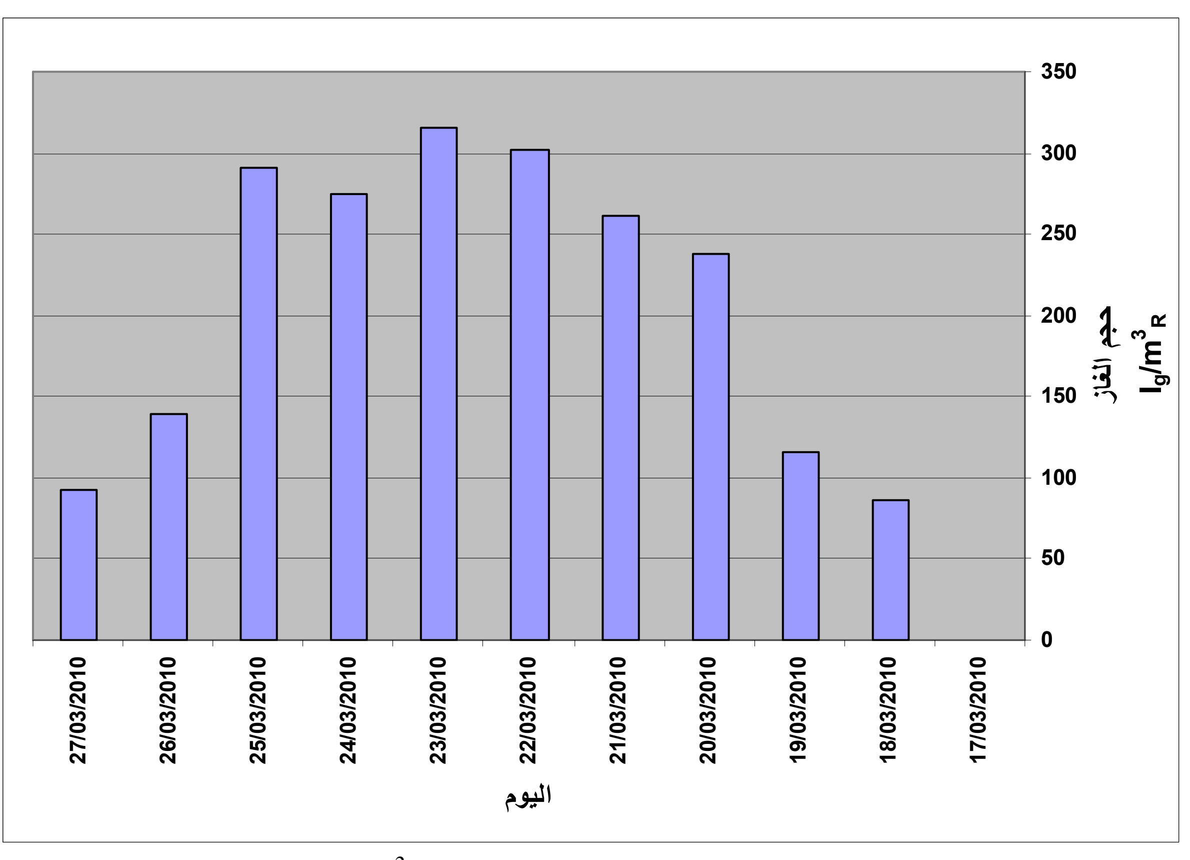
التجربة 3		
	أخفض درجة حرارة ^{o}C − الساعة	أعلى درجة حرارة ^{o}C − الساعة
درجة حرارة الجو	10.8− الساعة 4	20.8 − الساعة 13
درجة حرارة المخمر	30.4 − الساعة 7	35.2 − الساعة 18
الخزان الحراري	33.1 − الساعة 7	51.8 − الساعة 16
الإشعاع الشمسي	الساعة 7 ← الساعة 17	

4−3−4−5 إنتاج الغاز:

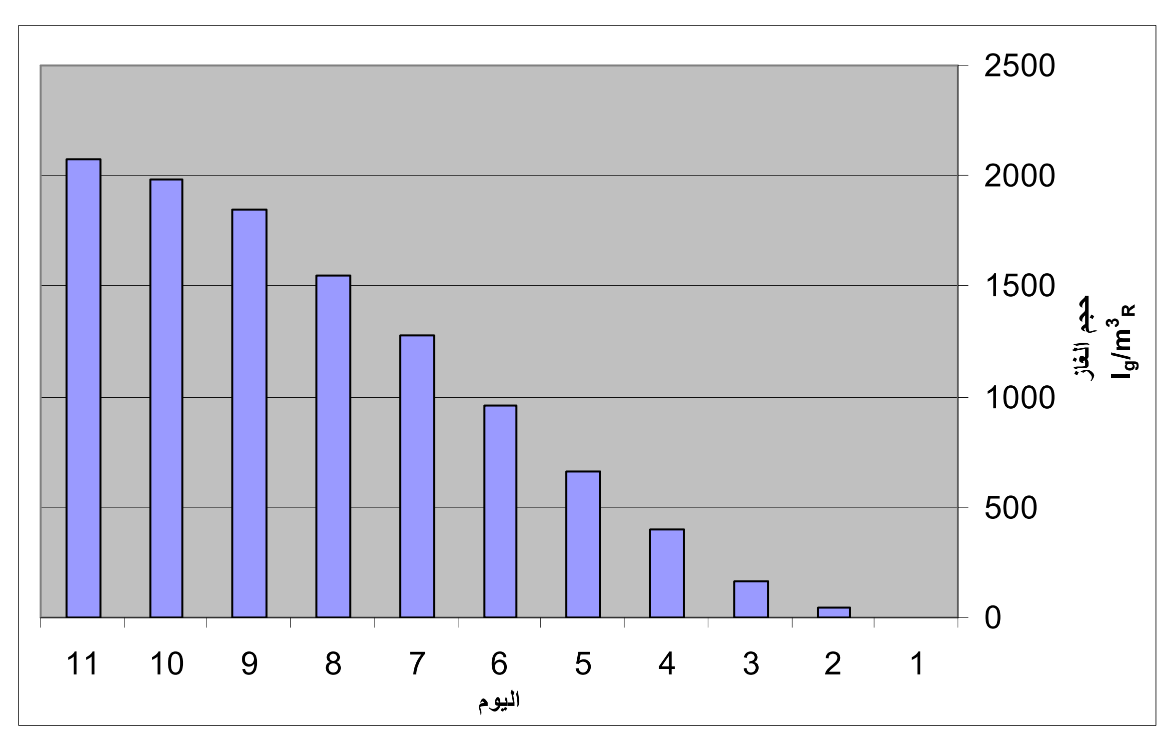
ويوضح الجدول (4−25) الإنتاج اليومي و التراكمي والإنتاج اليومي النوعي والتراكمي النوعي للغاز بواحدة l_g/m^3_R كما يوضح الشكل (4−38) والشكل (4−39) الإنتاج اليومي والإنتاج التراكمي للغاز على التوالي.

الجدول (4−25) يوضح قيم الإنتاج اليومي والتراكمي واليومي النوعي والتراكمي النوعي للغاز خلال التجربة (3)

اليوم	الإنتاج اليومي liter	الإنتاج التراكمي liter	الإنتاج اليومي النوعي l_g/m^3_R	الإنتاج التراكمي النوعي l_g/m^3_R
آذار-17	0	0	0	0.00
آذار-18	4.28	4.28	45.45	45.45
آذار-19	10.87	15.15	115.37	160.82
آذار-20	22.47	37.62	238.43	399.25
آذار-21	24.61	62.23	261.16	660.41
آذار-22	28.42	90.65	301.59	962.00
آذار-23	29.74	120.39	315.55	1277.55
آذار-24	25.92	146.31	275.06	1552.61
آذار-25	27.37	173.68	290.39	1843.00
آذار-26	13.21	186.89	140.15	1983.15
آذار-27	8.75	195.64	92.80	2075.95



الشكل (4-38) يوضح الإنتاج اليومي النوعي للغاز بواحدة l_g/m^3_R خلال التجربة (3)



الشكل (4-39) يوضح الإنتاج التراكمي النوعي للغاز بواحدة l_g/m^3_R خلال التجربة (3)

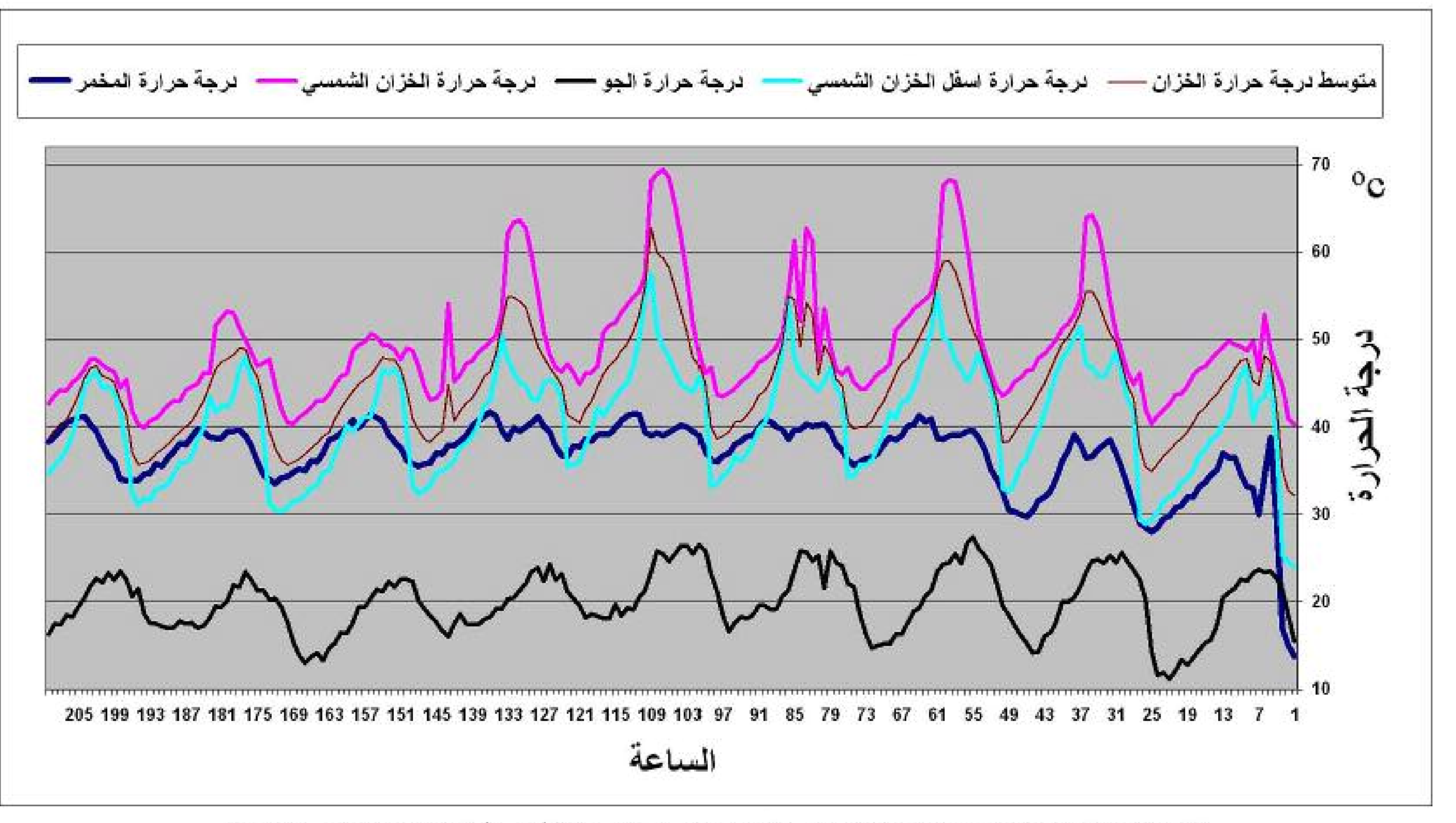
4-3-5 التجربة الرابعة :

بدات التجربة في تمام الساعة السايعة صباحاً في 23 نيسان، واستمرت حتى 3 أيار 2010 وتم تعيير دارة التحكم كما يلي :

3- تم تعيير الحساس الخاص بالمخمر على الدرجة ^{o}C 37.5 حيث يتم فصل المضخة عنـــدما تصل درجة حرارة المخمر إلى هذه الدرجة.

4- وتم تعييرالحساس الخاص بالخزان الحراري على الدرجة ^{o}C 45 ، حيث تتوقف المضخة عندما تنخفض درجة الحرارة عن هذه الدرجة.

يبين الشكل (4-40) خطوط تغير درجات حرارة المخمر والجو مع تغير درجات حرارة أعلـــى وأســـفل الخزان الحراري والمتوسط مابين أعلى وأسفل الخزان الحراري.



الشكل (4-40) خطوط تغير درجات حرارة المخمر والجو مع تغير درجات حرارة أعلى وأسفل الخزان الحراري والمتوسط مابين أعلى وأسفل الخزان الحراري

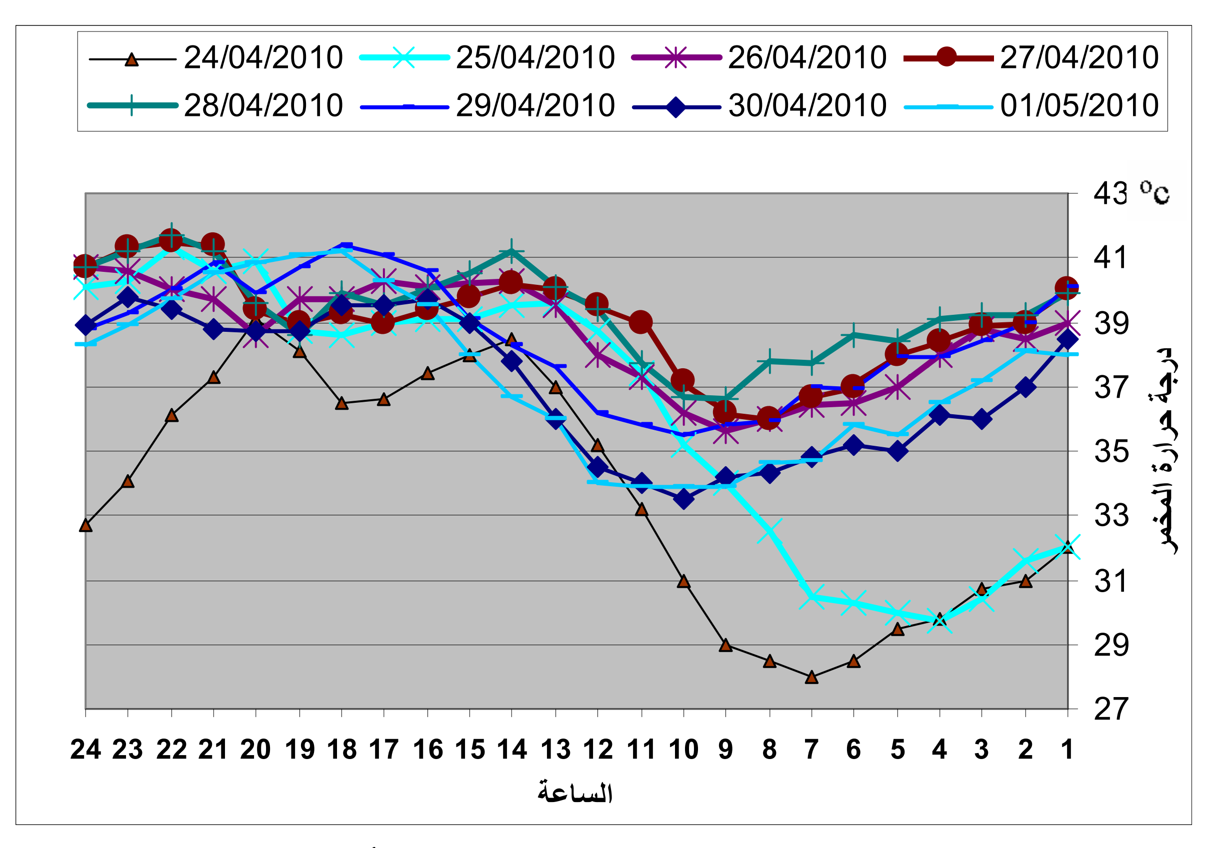
4-3-5-1 درجة حرارة المخمر:

ويوضح الجدول (4-26) درجات حرارة المخمر أثناء التجربة (4) مع متوسط هذه الدرجات في كل ساعة

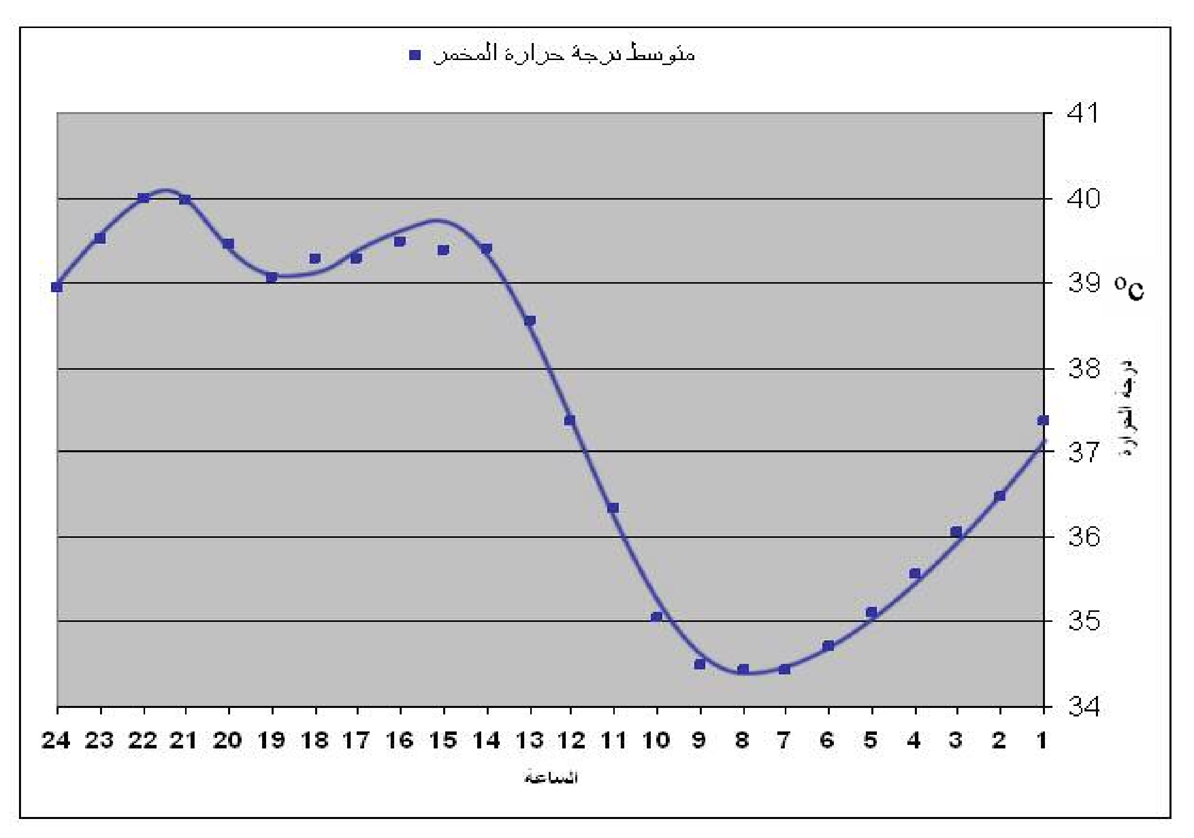
الجدول (4-26) درجات الحرارة الوسطية للمخمرt_R (^oC) خلال التجربة (4) خلال 24 ساعة مع المتوسط لساعات أيام التجربة

المتوسط C^o	25/04	24/04	01/05	30/04	29/04	28/04	27/04	26/04	25/04	24/04	الساعة
32	32	37.4	38	38.5	40.1	39.9	40	39	32	32	**1**
31.6	31	36.5	38.1	37	39	39.2	39	38.5	31.6	31	**2**
30.4	30.75	36.1	37.2	36	38.4	39.2	38.9	38.8	30.4	30.75	**3**
29.7	29.8	35.6	36.5	36.1	37.9	39.1	38.4	38	29.7	29.8	**4**
30	29.5	35.1	35.5	35	37.9	38.4	38	37	30	29.5	**5**
30.3	28.5	34.7	35.8	35.2	36.9	38.6	37	36.5	30.3	28.5	**6**
30.5	28	34.4	34.7	34.8	37	37.7	36.7	36.4	30.5	28	**7**
32.5	28.5	34.4	34.6	34.3	35.9	37.8	36	36	32.5	28.5	**8**
34	29	34.5	33.9	34.2	35.8	36.6	36.2	35.6	34	29	**9**
35.2	31	35.0	33.9	33.5	35.5	36.7	37.2	36.2	35.2	31	**10**
37.4	33.2	36.3	33.9	34	35.8	37.7	39	37.3	37.4	33.2	**11**
38.7	35.2	37.4	34	34.5	36.2	39.4	39.5	38	38.7	35.2	**12**
39.6	37	38.5	36	36	37.6	40.1	40	39.5	39.6	37	**13**
39.5	38.5	39.4	36.7	37.8	38.3	41.2	40.2	40.3	39.5	38.5	**14**
39.1	38	39.4	38	39	39.1	40.5	39.8	40.2	39.1	38	**15**
39.1	37.4	39.5	39.5	39.7	40.6	40	39.4	40.1	39.1	37.4	**16**
39	36.6	39.3	40.3	39.5	41.1	39.5	39	40.3	39	36.6	**17**
38.6	36.5	39.3	41.2	39.5	41.4	39.9	39.3	39.7	38.6	36.5	**18**
38.7	38.1	39.1	41.1	38.7	40.7	38.6	39	39.7	38.7	38.1	**19**
40.9	39.1	39.5	40.8	38.7	39.9	39.6	39.4	38.6	40.9	39.1	**20**
40.6	37.3	40.0	40.5	38.8	40.8	41.2	41.4	39.7	40.6	37.3	**21**
41.3	36.1	40.0	39.7	39.4	40	41.7	41.5	40	41.3	36.1	**22**
40.3	34.1	39.5	38.9	39.8	39.3	41.2	41.3	40.6	40.3	34.1	**23**
40.1	32.7	38.9	38.3	38.9	38.8	40.7	40.7	40.7	40.1	32.7	**24**

يبين الشكل (4-41) والشكل (4-42) خطوط تغير درجة حرارة المخمر لأيام التجربة (4) مع المتوسط لساعات أيام التجربة



الشكل (4-41) تغير درجة حرارة المخمر خلال أيام التجربة (4)



الشكل (4-42) تغير درجة حرارة المخمر الوسطية خلال 24 ساعة للتجربة (4)

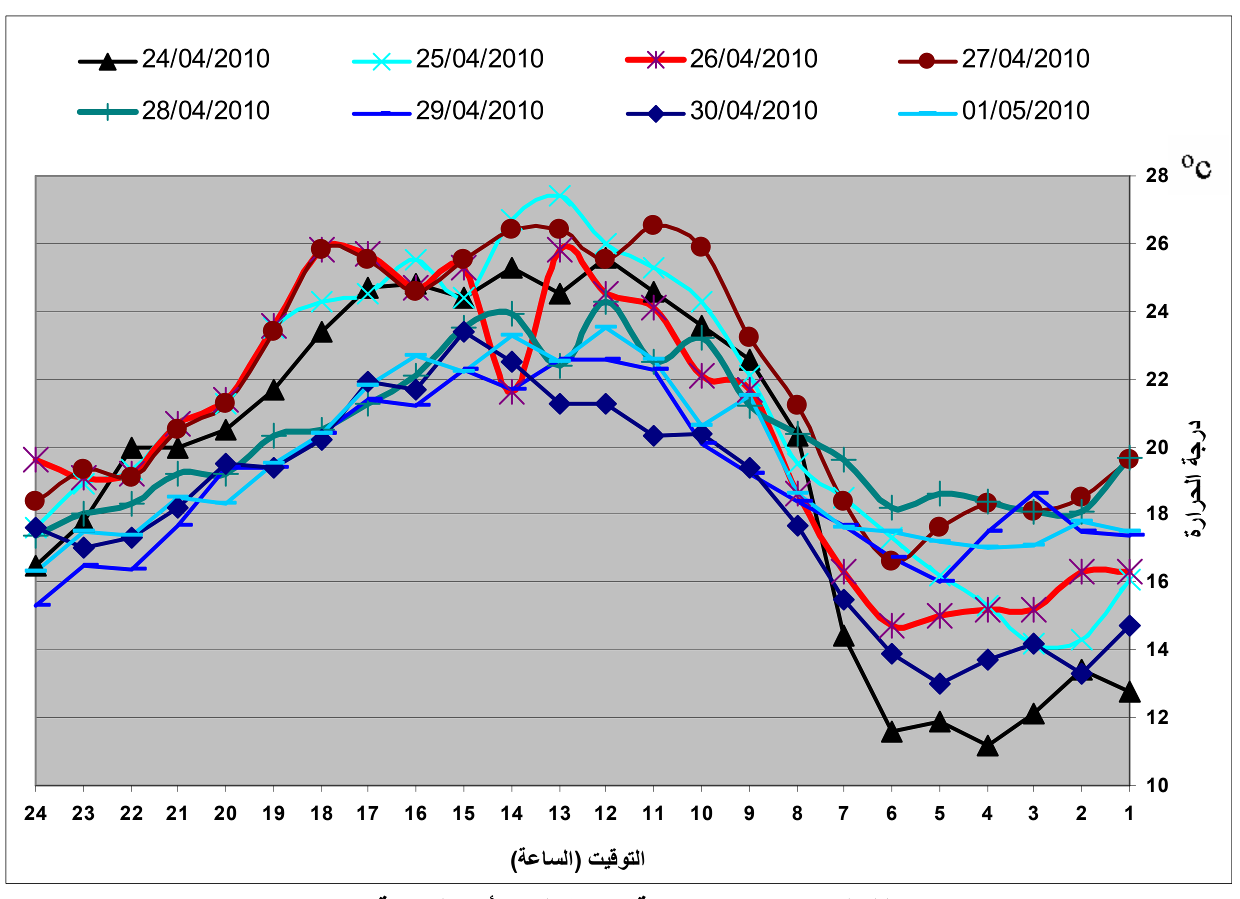
4-3-5-2 درجة حرارة الجو الخارجي:

ويوضح الجدول (4–27) درجات حرارة الجو الخارجي خلال أيام التجربة (4) مع متوسط هذه الدرجات في كل ساعة.

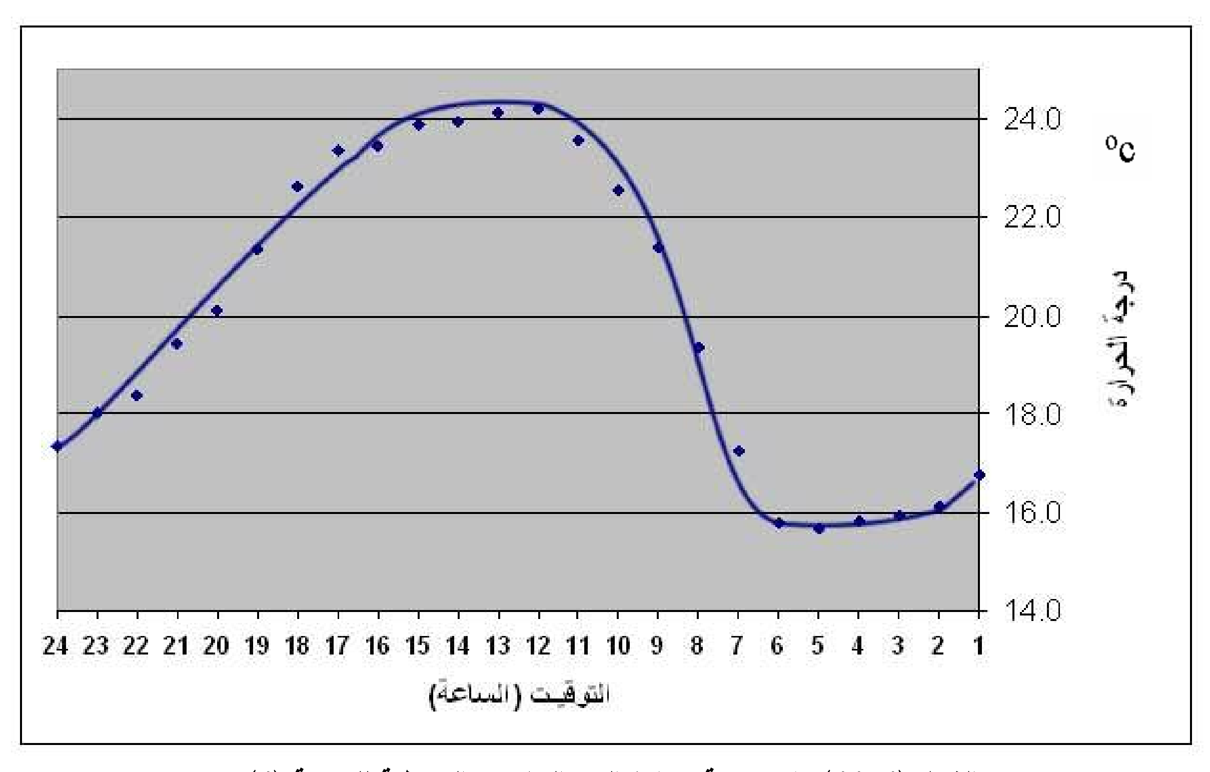
الجدول (4–27) درجة حرارة الجو الخارجي t_a (^oC) مع متوسط درجة الحرارة لكل ساعة للتجربة (4)

المتوسط	01/05	30/04	29/04	28/04	27/04	26/04	25/04	24/04	الساعة
16.8	17.5	14.7	17.4	19.7	19.6	16.3	16.1	12.8	1
16.2	17.8	13.3	17.5	18.1	18.5	16.3	14.3	13.4	2
16.0	17.1	14.2	18.6	18.1	18.1	15.2	14.2	12.1	3
15.8	17	13.7	17.5	18.4	18.3	15.2	15.3	11.2	4
15.7	17.2	13	16	18.6	17.6	15	16.2	11.9	5
15.8	17.5	13.9	16.7	18.2	16.6	14.7	17.3	11.6	6
17.3	17.6	15.5	17.7	19.6	18.4	16.3	18.5	14.4	7
19.3	18.6	17.7	18.4	20.4	21.2	18.6	19.5	20.3	8
21.4	21.5	19.4	19.2	21.2	23.2	21.7	22.1	22.6	9
22.5	20.6	20.4	20.1	23.2	25.9	22.1	24.3	23.6	10
23.5	22.6	20.3	22.3	22.5	26.5	24.1	25.3	24.6	11
24.2	23.5	21.3	22.6	24.3	25.5	24.5	26	25.6	12
24.1	22.5	21.3	22.6	22.4	26.4	25.8	27.4	24.5	13
23.9	23.3	22.5	21.7	23.9	26.4	21.6	26.7	25.3	14
23.9	22.2	23.4	22.3	23.5	25.5	25.3	24.4	24.4	15
23.4	22.7	21.7	21.2	22.1	24.6	24.7	25.5	24.8	16
23.4	21.8	21.9	21.4	21.3	25.5	25.7	24.5	24.7	17
22.6	20.4	20.2	20.4	20.5	25.8	25.8	24.3	23.4	18
21.4	19.5	19.4	19.4	20.3	23.4	23.6	23.5	21.7	19
20.1	18.3	19.5	19.4	19.2	21.3	21.4	21.3	20.5	20
19.4	18.5	18.2	17.7	19.2	20.5	20.7	20.7	20	21
18.4	17.4	17.3	16.4	18.3	19.1	19.2	19.3	20	22
18.0	17.5	17	16.5	18	19.3	19.1	18.9	17.8	23
17.3	16.3	17.6	15.3	17.4	18.4	19.6	17.6	16.5	24

يبين الشكل (4–43) والشكل (4–44) خطوط تغير درجة حرارة الجو خلال أيام التجربة (4) مع المتوسط لساعات أيام التجربة.



الشكل (4-43) تغير درجة حرارة الجو لأيام التجربة (4)



الشكل (4-44) تغير درجة حرارة الجو الخارجي الوسطية للتجربة (4)

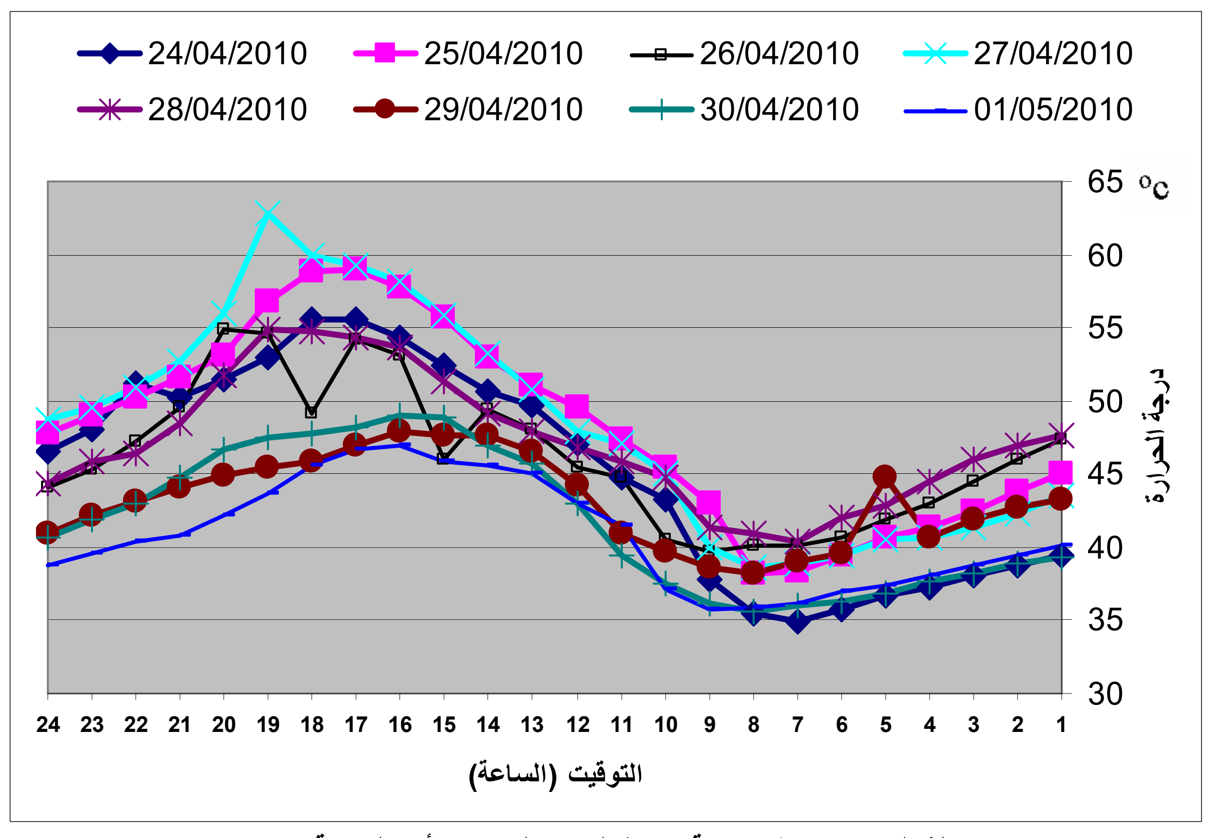
4-3-5-3 درجة حرارة الخزان الحراري:

يبين الجدول (4–28) درجة حرارة الخزان الحراري الوسطية خلال أيام التجربة (4) مع متوسط هذه الدرجات كل ساعة.

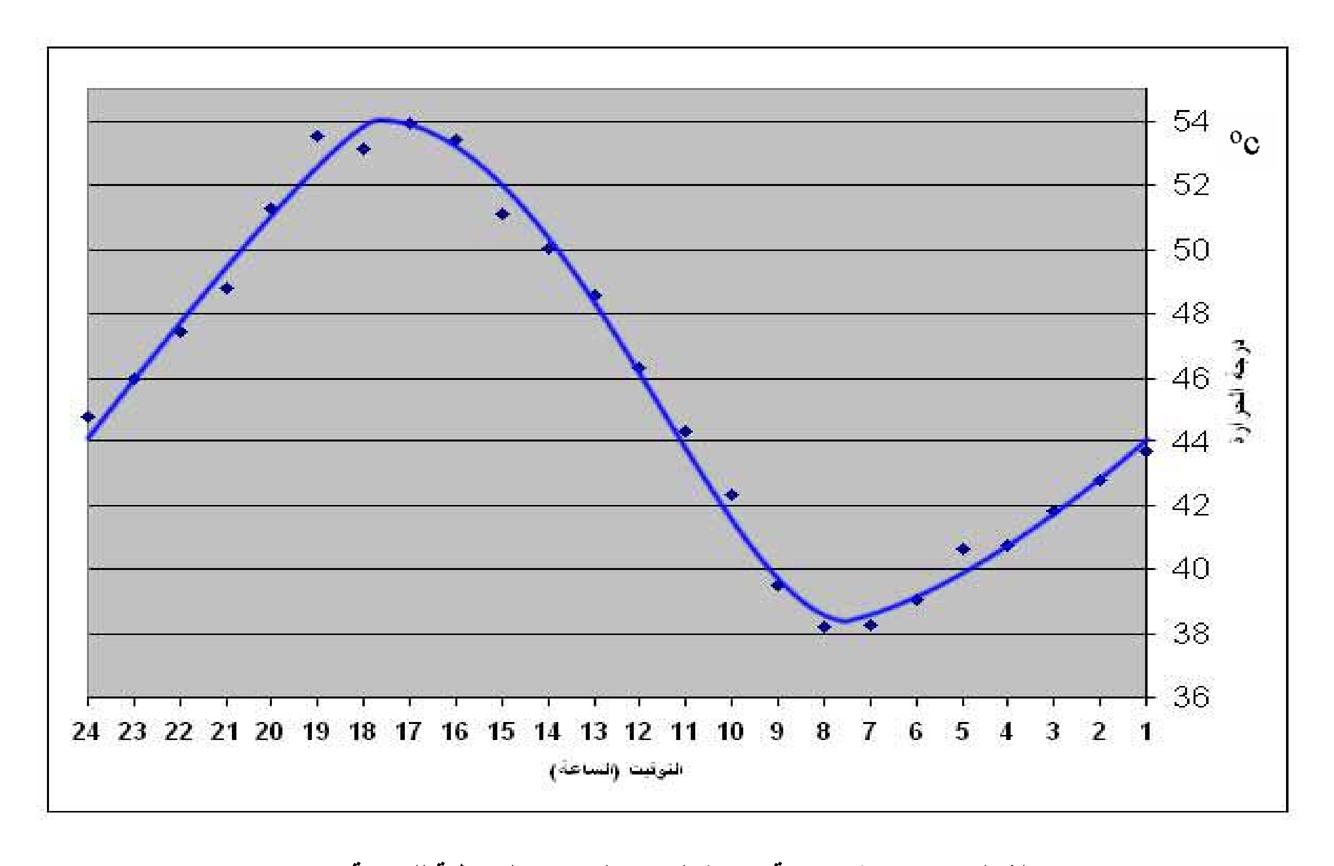
الجدول (4–28) درجة حرارة الخزان t_m (°C) الحراري مع متوسط درجة الحرارة لكل ساعة

الساعة	24/04	25/04	26/04	27/04	28/04	29/04	30/04	01/05	المتوسط C°
1	39.5	45.0	47.3	43.6	47.7	43.3	39.4	40.1	**43.7**
2	38.7	43.8	46.1	42.3	47.0	42.7	38.9	39.5	**42.8**
3	38.1	42.5	44.5	41.4	46.1	41.9	38.2	38.8	**41.8**
4	37.3	41.4	43.0	40.7	44.6	40.7	37.6	38.0	**40.7**
5	36.7	40.6	42.0	40.6	42.9	44.8	36.9	37.4	**40.6**
6	35.8	39.4	40.7	39.5	42.0	39.6	36.4	37.0	**39.0**
7	34.9	38.3	40.1	39.0	40.5	39.0	36.0	36.2	**38.2**
8	35.5	38.3	40.1	38.6	41.0	38.3	35.7	35.9	**38.2**
9	37.8	43.0	39.8	40.0	41.4	38.6	36.2	35.7	**39.5**
10	43.3	45.4	40.6	45.0	44.8	39.7	37.6	37.1	**42.3**
11	44.7	47.3	44.7	47.1	45.9	41.0	39.5	41.5	**44.3**
12	47.2	49.6	45.5	47.9	46.8	44.3	43.1	43.1	**46.3**
13	49.7	51.1	48.1	50.8	48.0	46.6	45.7	45.1	**48.6**
14	50.7	53.0	49.4	53.3	49.2	47.7	46.9	45.6	**50.0**
15	52.4	55.7	46.0	55.9	51.4	47.7	48.9	45.8	**51.1**
16	54.3	57.8	53.1	58.2	53.7	48.0	49.0	47.0	**53.4**
17	55.5	59.0	54.2	59.3	54.4	46.9	48.3	46.7	**53.9**
18	55.5	58.9	49.2	59.9	54.8	45.9	47.8	45.6	**53.1**
19	53.0	56.8	54.6	62.8	54.9	45.5	47.5	43.7	**53.6**
20	51.5	53.2	55.0	56.0	51.8	44.9	46.7	42.2	**51.3**
21	50.3	51.7	49.6	52.8	48.5	44.1	44.8	40.8	**48.8**
22	51.2	50.3	47.3	50.9	46.4	43.2	43.1	40.4	**47.5**
23	48.1	49.0	45.3	49.5	45.8	42.2	41.9	39.6	**46.0**
24	46.6	47.8	44.2	48.8	44.4	40.9	40.7	38.7	**44.7**

يبين الشكل (4–45) والشكل (4–46) خطوط تغير درجة حرارة الخزان خلال أيام التجربة (4) مع المتوسط لساعات أيام التجربة.



الشكل (4-45) تغير درجة حرارة الخزان الحراري لأيام التجربة (4)



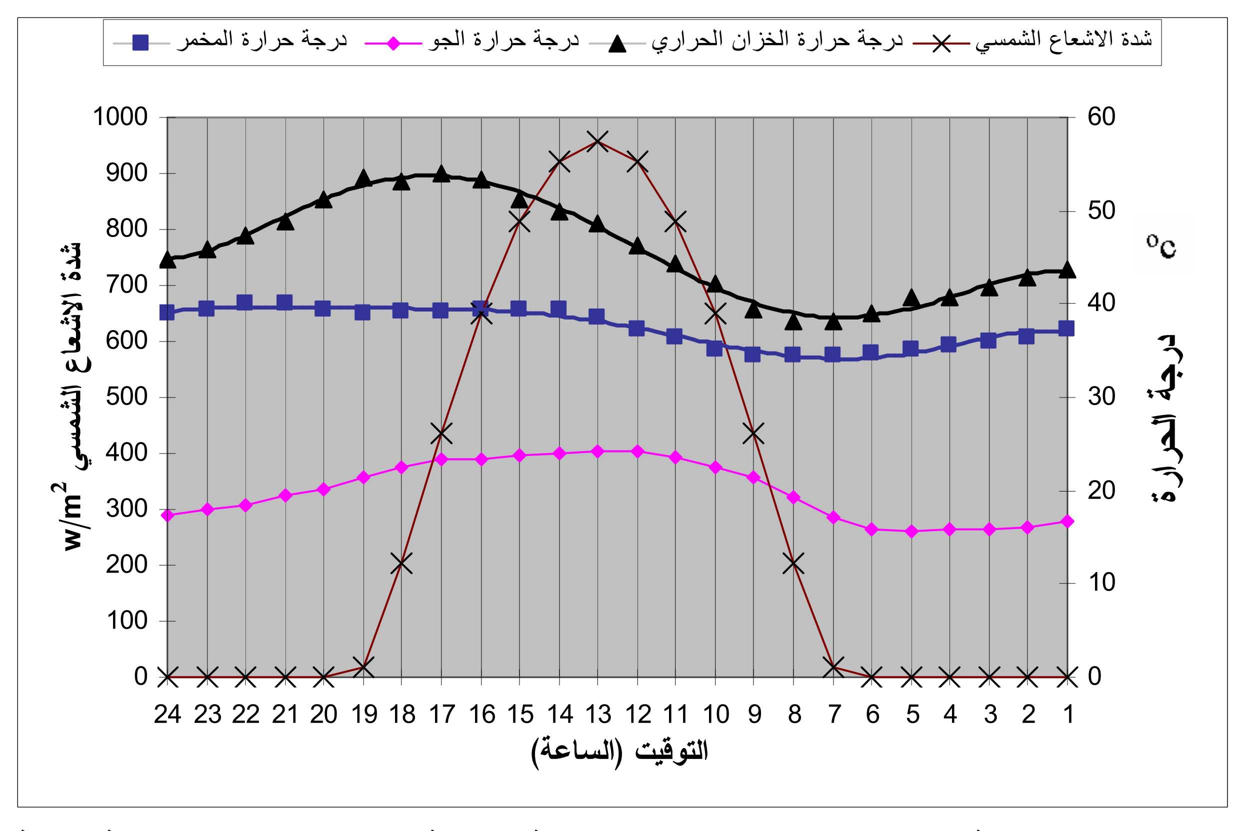
الشكل (4-46) تغير درجة حرارة الخزان الحراري الوسطية للتجربة (4)

4-5-3-4 درجات الحرارة الوسطية لكل من المخمر والجو الخارجي والخزان الحراري :

يبين الشكل (4-47) تغير درجة حرارة المخمر والخزان الحراري مع درجة حرارة الجو الخارجي مع الكسب الحراري الشمسي ويبين الجدول (4-29) الكسب الحراري الشمسي المحسوب [23] .

الجدول (4-29) الكسب الحراري الشمسي **G W/m²** خلال 11 يوم من التجربة

المتوسط	04/05	03/05	02/05	01/05	30/04	29/04	28/04	27/04	26/04	25/04	24/04	
Eglob,k	Eglob,k	Eglob,k	Eglob,k	Eglob,k	Eglob,k	Eglob,k	Eglob,k	Eglob,k	Eglob,k	Eglob,k	Eglob,k	التوقيت
16.7	21.0	20.7	20.4	16.0	15.8	15.6	15.4	15.2	14.9	14.6	14.3	**7**
204.1	203.8	203.7	203.6	204.7	204.6	204.5	204.4	204.3	204.1	203.8	203.6	**8**
435.9	427.5	427.9	428.4	437.2	437.8	438.3	438.8	439.2	439.7	440.1	440.5	**9**
648.4	632.8	633.8	634.7	650.5	651.5	652.5	653.5	654.4	655.4	656.3	657.2	**10**
815.5	794.5	795.8	797.1	818.1	819.5	820.9	822.2	823.5	824.8	826.1	827.4	**11**
921.6	897.3	898.8	900.3	924.7	926.3	927.8	929.4	930.9	932.5	933.9	935.4	**12**
957.9	932.5	934.1	935.7	961.2	962.8	964.5	966.1	967.7	969.3	970.9	972.4	**13**
921.6	897.3	898.8	900.3	924.7	926.3	927.8	929.4	930.9	932.5	933.9	935.4	**14**
815.5	794.5	795.8	797.1	818.1	819.5	820.9	822.2	823.5	824.8	826.1	827.4	**15**
648.4	632.8	633.8	634.7	650.5	651.5	652.5	653.5	654.4	655.4	656.3	657.2	**16**
435.9	427.5	427.9	428.4	437.2	437.8	438.3	438.8	439.2	439.7	440.1	440.5	**17**
204.1	203.8	203.7	203.6	204.7	204.6	204.5	204.4	204.3	204.1	203.8	203.6	**18**
16.7	21.0	20.7	20.4	16.0	15.8	15.6	15.4	15.2	14.9	14.6	14.3	**19**
7042.3	**6886.4**	**6895.5**	**6904.5**	**7063.7**	**7073.8**	**7083.8**	**7093.4**	**7102.8**	**7111.9**	**7120.6**	**7129.0**	المجموع



الشكل (4-47) تغير درجة حرارة المخمر والخزان الحراري الوسطية مع درجة حرارة الجو الخارجي الوسطية للتجربة (4)

حيث يلاحظ من الشكل (4-47) أن أخفض درجة حرارة للخزان هي 38.2 ^oC عند الساعة السابعة، وهي لحظة بدء الكسب الحراري الشمسي، وتستمر بالارتفاع لتبلغ أعلى مستوى في الساعة الخامسة حتى قيمة 53.9 ^oC وتبدأ بالانخفاض مع انخفاض مستوى الإشعاع الشمسي، بينما يتوقف الإشعاع الشمسي بشكل كامل عند الساعة الثامنة مساءً.

تبدأ درجة حرارة المخمر بالارتفاع منذ الساعة السابعة صباحاً، حيث تكون درجة حرارة المخمر 34.4 ^oC وتستمر بالارتفاع حتى الساعة العاشرة ليلاً إلى الدرجة 40 ^oC وذلك بسبب وجود فائض في كمية الحرارة في الخزان الحراري لتبدأ بالانخفاض من جديد.

أخفض درجة لحرارة الجو عند الساعة الخامسة صباحاً 15.7 ^oC وأعلى درجة عند الساعة الواحدة بعد الظهر 24.2 ^oC والنتائج موضحة بالجدول (4-30).

الجدول (4-30) يبين درجات الحرارة الدنيا والعليا للمخمر والخزان والجو مع مدة الإشعاع الشمسي

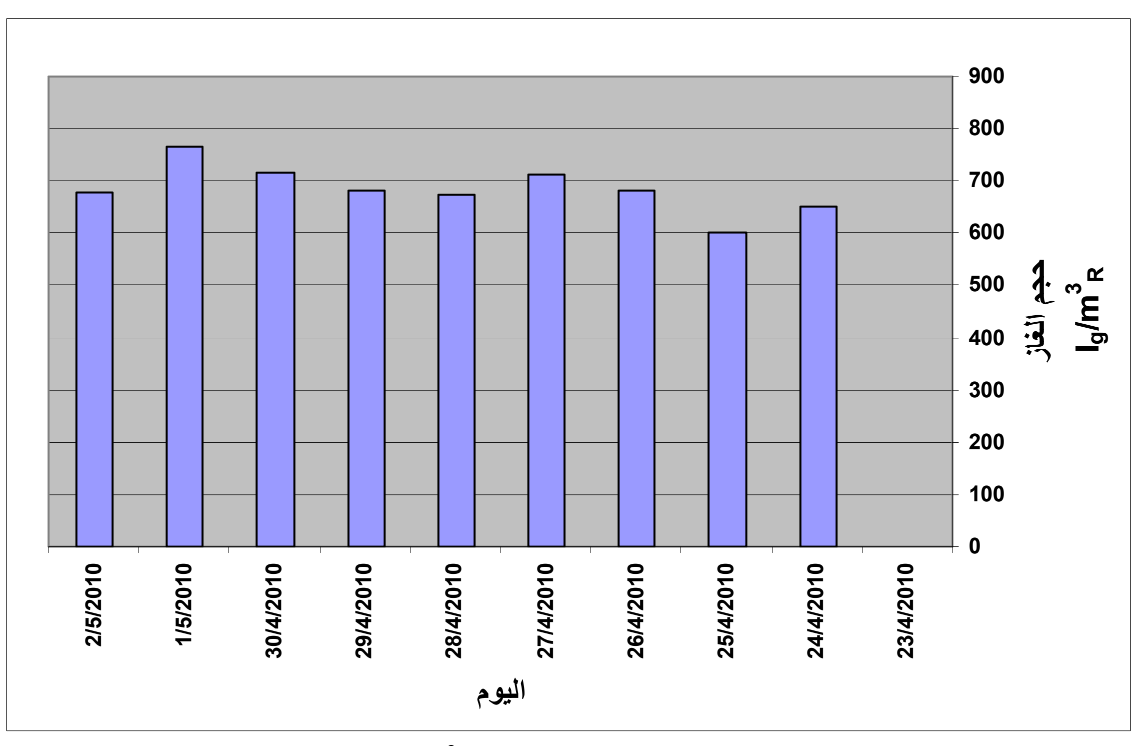
التجربة 4		
	أخفض درجة حرارة ^oC – الساعة	أعلى درجة حرارة ^oC – الساعة
درجة حرارة الجو	15.7– الساعة 5	24.2 – الساعة 13
درجة حرارة المخمر	34.4 – الساعة 7	40 – الساعة 22
الخزان الحراري	38.2 – الساعة 7	53.9 – الساعة 17
الإشعاع الشمسي	الساعة 7 ← الساعة 19	

4-3-5-5 إنتاج الغاز :

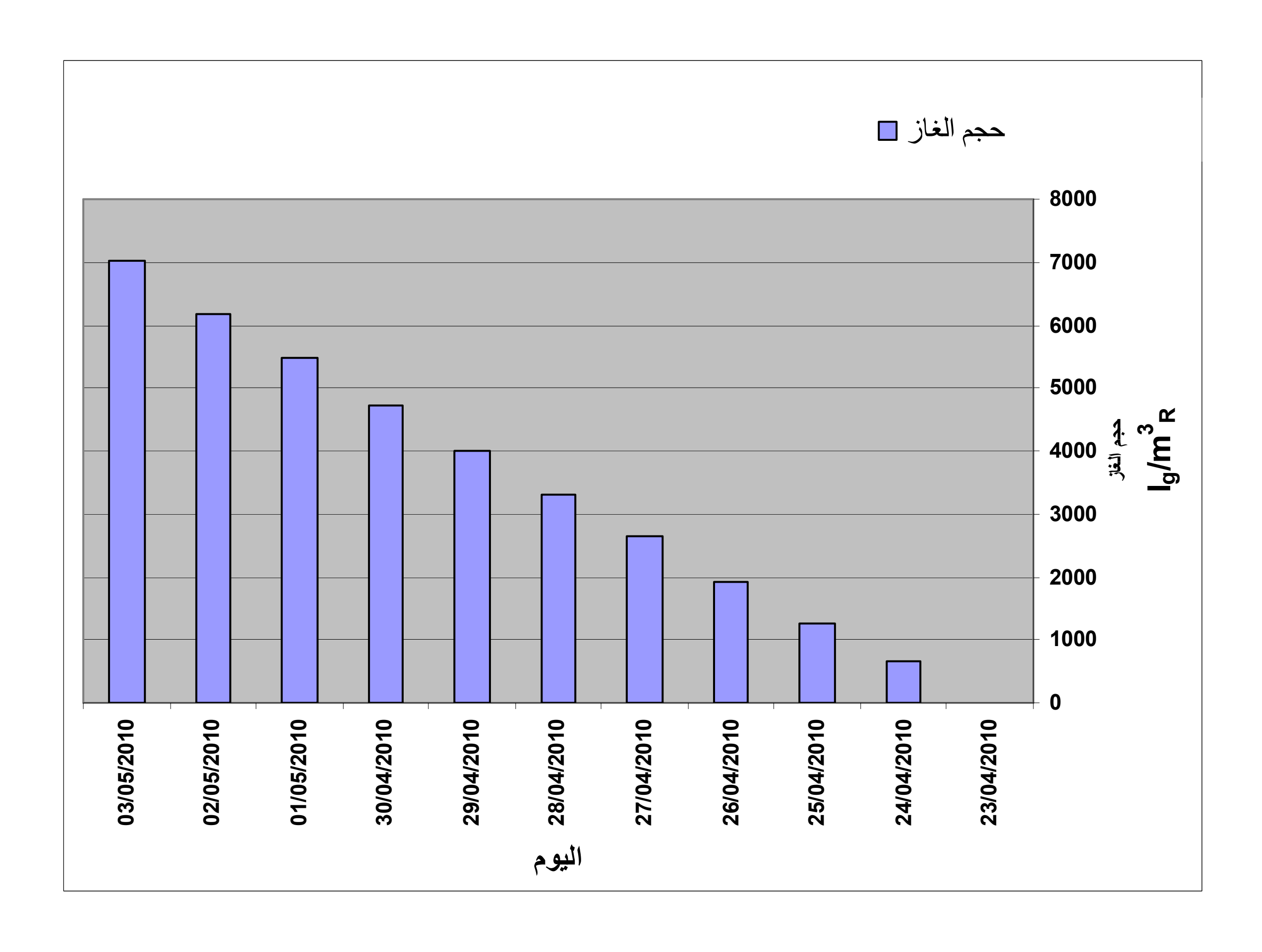
ويوضح الجدول (4-31) الإنتاج اليومي والإنتاج التراكمي والإنتاج اليومي النوعي والتراكمي النوعي للغاز بواحدة l_g/m^3_R كما يوضح الشكل (4-48) والشكل (4-49) الإنتاج اليومي والإنتاج التراكمي للغاز على التوالي.

الجدول (4-31) يبين قيم الإنتاج اليومي والكلي للغاز خلال فترة التجربة

اليوم	الإنتاج اليومي liter	الإنتاج التراكمي liter	الإنتاج اليومي النوعي l_g/m^3_R	الإنتاج التراكمي النوعي l_g/m^3_R
نيسان-23	0.00	0	0.00	0.00
نيسان-24	61.46	61.46	652.12	652.12
نيسان-25	56.50	117.96	599.56	1251.68
نيسان-26	64.21	182.17	681.32	1933.00
نيسان-27	67.10	249.27	712.05	2645.05
نيسان-28	63.42	312.69	672.95	3318.00
نيسان-29	64.21	376.9	681.32	3999.32
نيسان-30	67.65	444.55	717.87	4717.19
أيار-01	72.04	516.59	764.44	5481.63
أيار-02	63.79	580.38	677.12	6158.75
أيار-03	80.29	660.67	851.76	7010.51



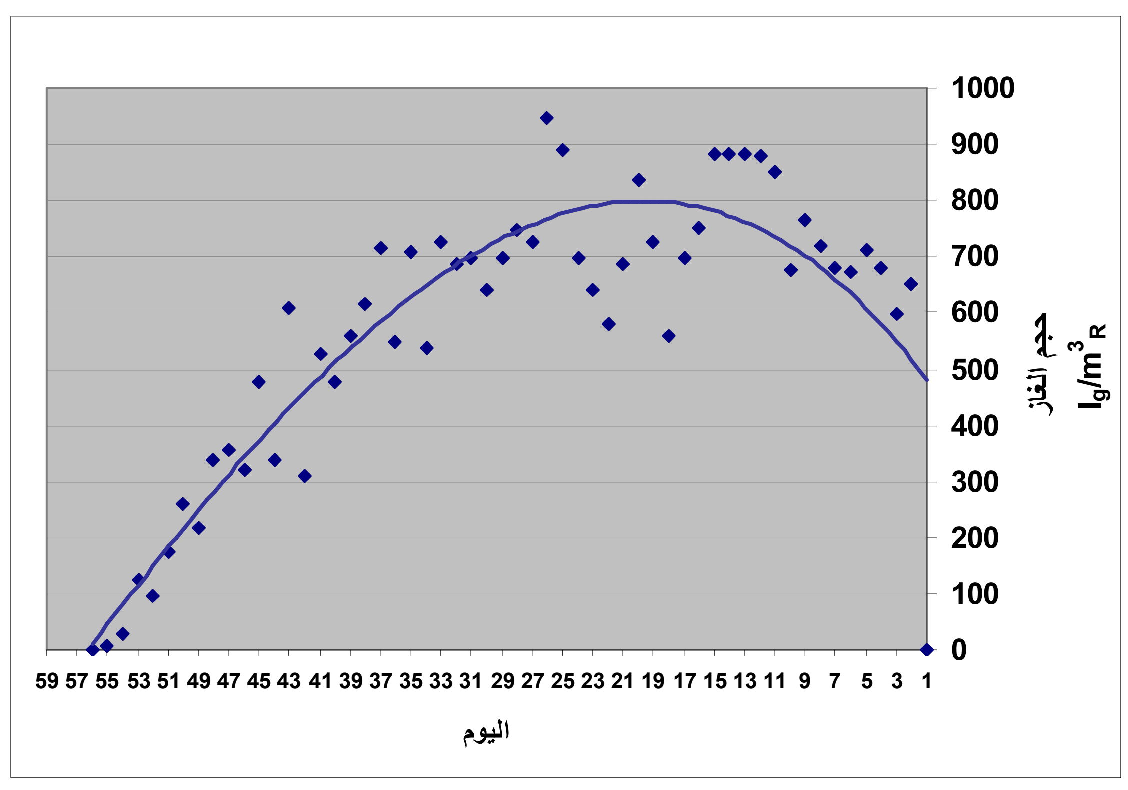
الشكل (4-48) يوضح الإنتاج اليومي النوعي للغاز l_g/m^3_R خلال فترة التجربة (4)



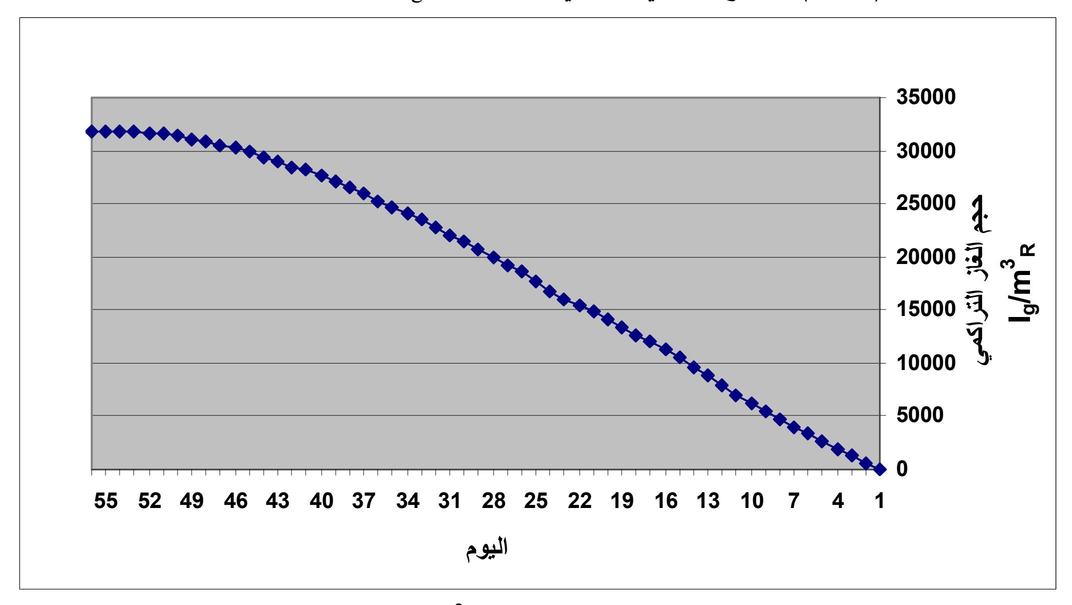
الشكل (4-49) يوضح الإنتاج التراكمي النوعي للغاز l_g/m^3_R خلال فترة التجربة

6-5-3-4 :إنتاج الغاز حتى لحظة انتهاء المادة عن توليد الغاز:

تم أخذ قياسات إنتاج الغاز للتجربة الرابعة بشكل يومي حتى لحظة توقف المادة المخمرة عن توليد الغاز، حيث لوحظ أن إنتاج الغاز يبدأ بالازدياد منذ اليوم الأول ليبلغ ذروته في اليوم (21) ثم يبدأ بالانخفاض تدريجياً إلى أن يتلاشى بشكل كامل في اليوم 55 و56 كما هو مبين بالشكل (4-50)، وقد بلغ الإنتاج التراكمي النوعي للغاز $l_g/m3R$ 31811.52 كما هو مبين بالشكل (4-51).



الشكل (4-50) الإنتاج اليومي النوعي للغاز l_g/m^3_R خلال فترة التجربة الرابعة



الشكل (4-51) الإنتاج التراكمي النوعي للغاز l_g/m^3_R خلال فترة التجربة الرابعة

4-3-6 : بيانات تحليل السماد الناتج عن التخمير :

تم إرسال ثلاث عينات من السماد الناتج من التجربة 1 -3- 4 إلى مخبر البحوث العلمية الزراعية – دمشق/ دوما عن طريق المركز الوطني لبحوث الطاقة وذلك في نهاية اليوم الحادي عشر من كل تجربة فكانت النتائج موضحة في الجدول (4-32 – A):

الجدول (4-32-A) تحليل السماد للتجارب الثلاثة المختارة

Elements %	التجربة 4	التجربة 3	التجربة 1
oTS%	91.87	75.56	89.76
Ash%	8.13	24.44	10.24
N%	1.85	1.71	1.83
P%	0.028	0.005	0.02
K_2O%	0.2	0.28	0.19
Fe (mg/kg)	459	395	1215
Zn (mg/kg)	12	15	8
Mn (mg/kg)	9	13	12
Cu (mg/kg)	77.7	80	traces
Mg (mg/kg)	3769	2938	2334
Humidity %	72.34	82.82	80.94

إن استخدام الأسمدة العضوية ضروري لاسترجاع العناصر السمادية التي استهلكت من التربة خلال نمو النبات، وعندما تضاف إلى التربة الزراعية تتناولها الكائنات الدقيقة في التربة بالهدم والتحليل، منتجة المركبات العضوية البسيطة والعناصر المغذية الميسرة للنبات والتي تمكث في التربة مما يزيد خصوبتها، لأن من أهم ميزات الأسمدة العضوية جودة التحلل، انعدام الرائحة، ارتفاع محتواها من العناصر السمادية بالإضافة إلى خلوها من بذور الحشائش والنيماتودا ومسببات أمراض النبات، وبالتالي استخدام السماد العضوي يحقق ما يلي:

1- حماية البيئة من التلوث نتيجة ترشيد استهلاك الأسمدة المعدنية.

2- إنتاج غذاء آمن صحياً للإنسان خالٍ من المواد الكيماوية.

يبين الجدول التالي (4-32-B) بأن الأسمدة العضوية تعد الأقل تلوثاً بالعناصر النادرة والثقيلة مقارنة بالأسمدة الكيماوية والأخرى المصنعة من مخلفات القمامة.

الجدول (4-32-B) مقارنة بين السماد العضوي والأسمدة الأخرى

الأسمدة من مخلفات القمامة	الأسمدة العضوية	الأسمدة النتروجينية	الأسمدة الفوسفاتية	العنصر
ملغ/كغ سماد				
52-2	25-3	120-2.3	1200-2	الزرنيخ
-	0.6-0.3	-	115-2	البورون
100-0.01	0.8-0.1	8.5-0.05	170-0.1	الكادميوم
-	24-0.3	12-5.4	12-1	الكوبالت
21-0.09	0.26-0.01	19-3.1	245-66	الكروميوم
3580-13	172-2	-	300-1	النحاس
21-0.09	0.36-0.01	2.9-0.3	1.2-0.01	الزئبق
-	969-30	-	40-20	المنغنيز
-	3-0.05	7-1	60-0.1	الموليبديوم
279-0.9	30-2.1	34-7	38-7	النيكل
2240-1.3	27-1.1	27-2	225-7	الرصاص
-	-	-	أكثر من 100	القصدير
-	2.4	-	0.5	السيلنيوم
-	-	-	300-30	اليورانيوم
-	-	-	1600-2	الفاناديوم
5894-82	566-15	1.42	1450-50	الزنك

4-3-7 تحليل النتائج:

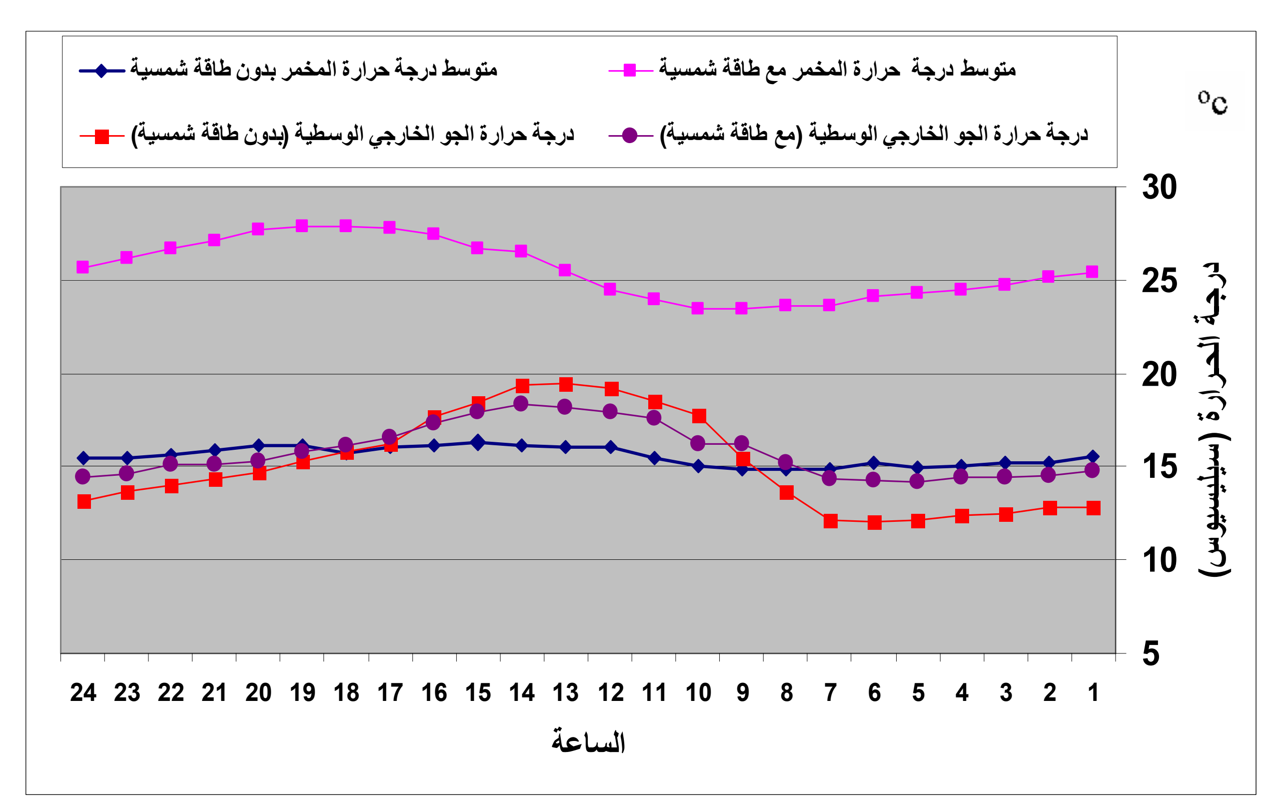
4-3-7-1 مقارنة بين التجربة الأولى والثانية :

4-3-7-1-1 حرارة المخمر مع الجو الخارجي:

يبين الجدول (4-33) درجة حرارة المخمر والجو الوسطية مع استخدام وبدون استخدام طاقة شمسية والشكل (4-52) يبين الخطوط البيانية الممثلة للجدول (4-33) حيث يلاحظ من المخطط أن درجة حرارة الجو الخارجي في التجربتين شبه متطابقه ويلاحظ ارتفاع درجة حرارة المخمر نتيجة الكسب الحراري الشمسي بمقدار $10\ ^{o}C$.

الجدول (4-33) درجة حرارة المخمر والجو الوسطية مع استخدام وبدون استخدام طاقة شمسية ^{o}C

الساعة	متوسط درجة حرارة المخمر بدون طاقة شمسية تجربة(2)	متوسط درجة حرارة المخمر مع طاقة شمسية تجربة(1)	الفرق Δt_R	درجة حرارة الجو الوسطية (بدون طاقة شمسية) تجربة(2)	درجة حرارة الجو الوسطية (مع طاقة شمسية) تجربة (1)
1	15.5	25.4	**9.8**	12.8	14.8
2	15.2	25.2	**9.9**	12.8	14.5
3	15.2	24.7	**9.6**	12.5	14.4
4	15.0	24.5	**9.5**	12.4	14.4
5	14.9	24.3	**9.4**	12.1	14.2
6	15.2	24.1	**8.9**	12.0	14.3
7	14.9	23.6	**8.8**	12.2	14.3
8	14.8	23.6	**8.8**	13.7	15.2
9	14.9	23.5	**8.6**	15.5	16.2
10	15.1	23.5	**8.4**	17.8	16.3
11	15.5	24.0	**8.5**	18.5	17.6
12	16.0	24.5	**8.5**	19.2	17.9
13	16.0	25.5	**9.4**	19.4	18.2
14	16.1	26.5	**10.4**	19.4	18.3
15	16.3	26.7	**10.4**	18.4	17.9
16	16.2	27.4	**11.3**	17.6	17.3
17	16.0	27.8	**11.7**	16.2	16.6
18	15.7	27.9	**12.2**	15.8	16.1
19	16.2	27.9	**11.8**	15.3	15.8
20	16.2	27.7	**11.6**	14.7	15.3
21	15.9	27.1	**11.3**	14.3	15.1
22	15.6	26.7	**11.1**	14.1	15.1
23	15.5	26.2	**10.7**	13.7	14.6
24	15.4	25.7	**10.2**	13.1	14.4
المتوسط الحسابي	15.6	25.6	**10.0**	15.2	15.8

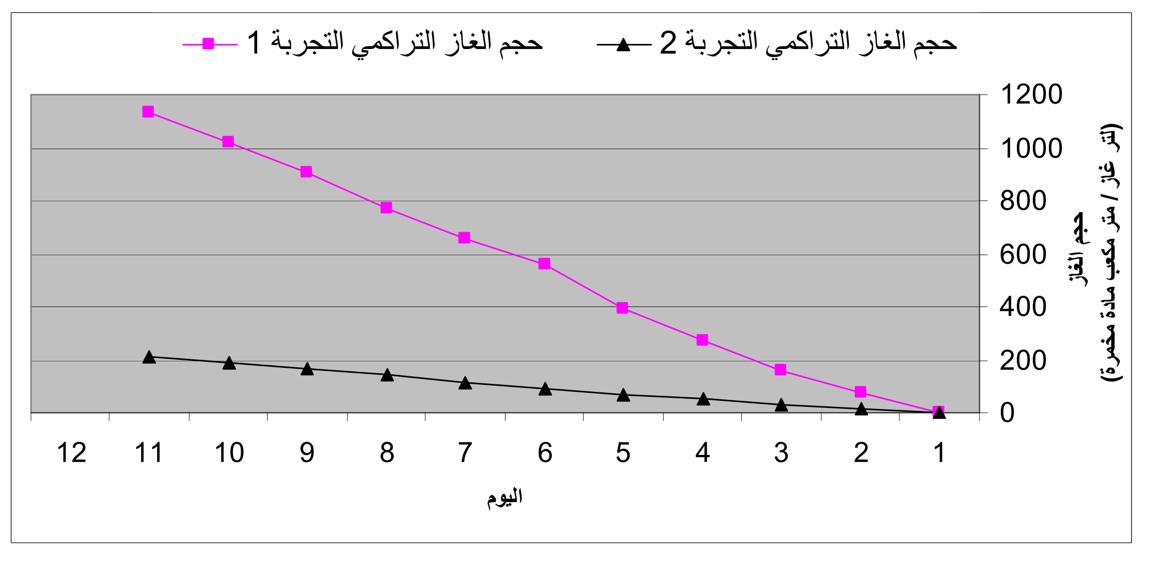


الشكل (4-52) يبين مخططات تغير درجة حرارة المخمر والجو مع الفرق في درجة حرارة المخمر في التجربتين 1 و 2

4-3-7-1-2 إنتاج الغاز:

نلاحظ أن الفرق في درجات الحرارة مابين التجربة 1 والتجربة 2 هو عشر درجات أدى ذلك إلى ارتفاع في كمية الغاز المنتجة، كما هو مبين في الشكل (4-53).

حيث ارتفعت كمية الغاز المنتجة بما يعادل 5.4 مرة وذلك نتيجة ارتفاع درجة الحرارة بمقدار 10 °C وذلك من 15.6 إلى 25.6 °C وهي أكبر درجة حرارة تم اكتسابها بالرغم من أن الطقس كان أثناء التجربة غائم إلى شبه غائم.



الشكل (4-53) إنتاج الغاز في التجربة الأولى والثانية

4-3-7-2 مقارنة بين التجارب الأربعة:

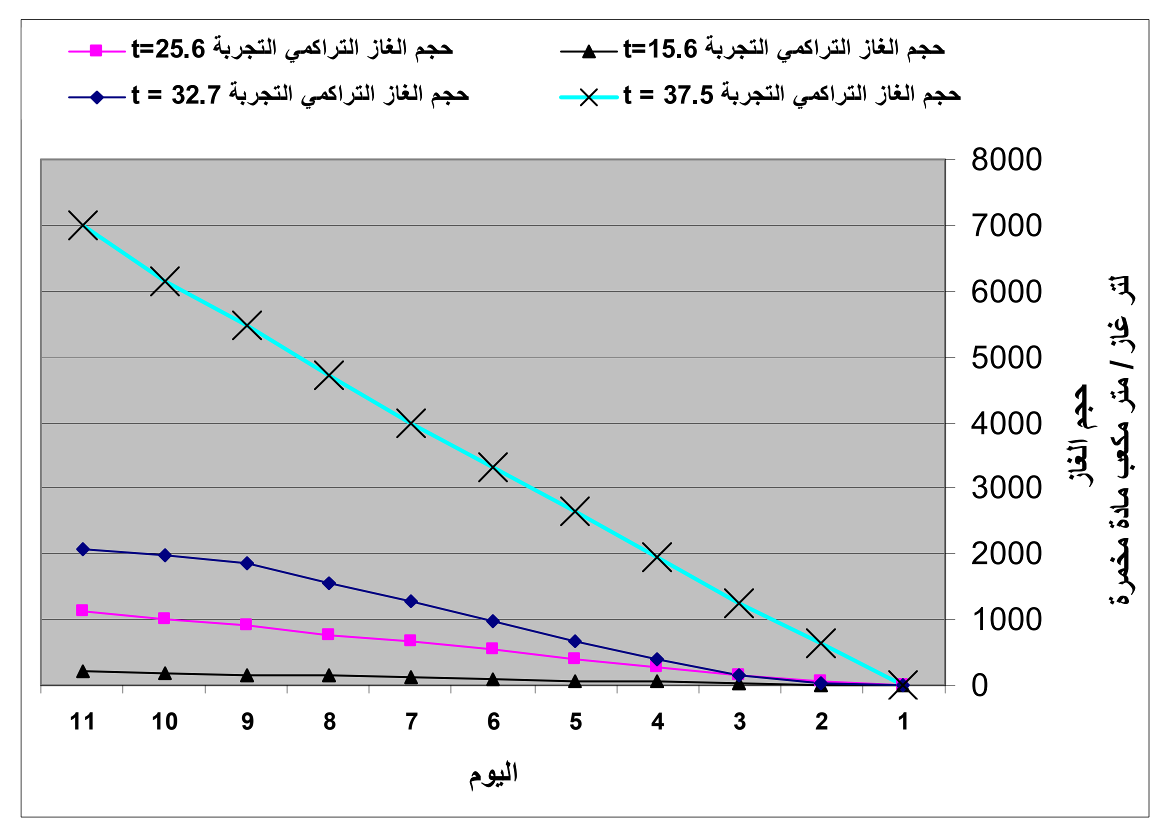
4-3-7-2-1 درجة حرارة التخمير :

يبين الجدول (4-34) درجة حرارة المخمر والجو والخزان الحراري في التجارب الأربعة:

الجدول (4-34) درجة حرارة المخمر الوسطية في التجارب الأربعة ^{o}C

درجة الحرارة	تجربة (1)	تجربة (2)	تجربة (3)	تجربة (4)
المخمر ^{o}C	25.6	15.6	32.7	37.5
الجو ^{o}C	16.1	15.2	15.7	20
الخزان الحراري ^{o}C	28.1	-	41.4	45.1
إنتاج الغاز التراكمي النوعي $l_g/m^3{}_R$	1131.4	208.3	2075.95	7010.5

ويبين الشكل (4-54) تأثير درجة حرارة المخمر على حجم الإنتاج.



الشكل (4-54) تأثير درجة حرارة المخمر على حجم الإنتاج النوعي التراكمي

4-3-8 الحساب الحراري للتجربة الرابعة :

بما أن التجربة رقم (4) هي التجربة ذات الإنتاج الأكبر من الغاز وذات درجة الحرارة الأعلى للمخمر فسوف نقوم بالدراسة الحرارية لهذه التجربة.

1-8-3-4 بيانات التجربة الرابعة:

يبين الجدول (4-35) الشروط والمواصفات الخاصة بالتجربة الرابعة بالاعتماد على النتائج العملية لهذه التجربة و الأجهزة المستخدمة فيها.

الشروط والمواصفات	القيمة	الواحدة
D قطر المخمر	49	cm
H ارتفاع المخمر	80	cm
ارتفاع المادة	50	cm
سماكة الحديد	2	mm
سماكة الصوف الزجاجي	2.5	cm
V_R حجم المادة المخمرة	94.23925	liter
V_D حجم المخمر الكلي	150.7828	liter
A_R سطح التبادل في المخمر مع الجو	1.61	m^2
معامل انتقال الحرارة بالحمل من سطح المخمر للجو الخارجي[24-25]	23.3	$W/(m^2.k)$
معامل انتقال الحرارة بالحمل من الروبة إلى السطح الداخلي للمخمر[24-25]	245	$W/(m^2*k)$
معامل التوصيل للحديد [26]	81	W/(m*k)
معامل التوصيل للصوف الزجاجي [26]	0.04	W/(m*k)
معامل التوصيل للنحاس [26]	399	W/(m*k)
K_R معامل انتقال الحرارة الكلي للمخمر	1.488	W/(m*k)
t_R درجة حرارة التخمير	37.5	^oC
t_a درجة حرارة الجو الخارجية الوسطية	20	^oC
t_m درجة حرارة الخزان الحراري الوسطية	45.1	^oC
درجة حرارة المادة الداخلة للتخمير	19	^oC
A_{colec} مساحة اللاقط المستخدم	0.555	m^2
V_{Tank} حجم الخزان الحراري	60	liter
سماكة العازل بوليسترين	6	cm
معامل التوصيل للبوليسترين[26]	0.03	W/(m*k)
أبعاد الخزان الحراري	0.4×0.98	$D_{Tank}\times L_{Tank}$ m
سماكة الصاج الداخلي	0.1	mm
سماكة الصاج الخارجي	0.1	mm
معامل انتقال الحرارة سطح الخزان للجو الخارجي[24-25]	23.3	$W/(m^2*k)$
معامل انتقال الحرارة بالحمل من الماء إلى السطح الداخلي للخزان[24-25]	245	$W/(m^2*k)$
K_{Tank} معامل انتقال الحرارة الكلي للخزان الحراري	0.584	$W/(m^2*k)$
A_{Tank} سطح التبادل للخزان الحراري مع الجو	1.48	m^2
Cp_R السعة الحرارية الكتلية للمادة المخمرة [26]	4.186	kJ/kg*K
ρ_R الكتلة النوعية للروبة	1038	Kg/m^3

2-8-3-4 الطاقة الحرارية المنتجة من اللاقط الشمسي المستخدم:

تم حساب الكسب الحراري الشمسي حسابياً من اجل 11 يوماً من التجربة، وكمية الإشعاع اليومي الوسطي المكتسب يومياً يساوي **7042.3** $W/m^2.day$ وهذا ما يعادل 25352.28 $kj/m^2.day$ أما الكسب الحراري الساعي يساوي إلى 541.76 $W/m^2.h$.

وبالتالي كمية الحرارة التي يستطيع اللاقط الشمسي تأمينها تؤخذ من العلاقة (2-1)

$$\eta(x)=K.\eta_{(O)}-a_1.G.(x)-a_2.G.(x)^2 \qquad X=(t_m-t_a)/G$$

وتكون قيم η_o a_1 a_2 وذلك من اجل لاقط شمسي ذو أنابيب مفرغة [9]:

$\eta_o = 0,706912$

$a_1 = 3,06225\ W/(m^2K)$

$a_2 = 0,0172086\ W/(m^2K^2)$

ومعامل الميلان الزاوي الكلي K ناتج عن الميلان الطولي $K_{\theta L}$ والميلان العرضي $K_{\theta T}$ ويحسب بالعلاقة **(2-2)** :

$$K=K_{\theta T}.K_{\theta L}$$

وتعطى قيم المعاملات وفق الجدول (2-1) [9] ومن أجل الزاوية 45° نجد أن $K_{\theta L}=0.94$ و $K_{\theta T}=1.395$ وبالتالي

$$K=1.311$$

$$X=(45.1-20)/541.76=0.047626$$

ومنه مردود اللاقط المستخدم:

$$\eta(x)=0.540$$

ومنه طاقة اللاقط الشمسي :

$$Q_1=Q_e.\eta(x).A_{colec} \qquad (1-5)$$

حيث :

Q_e كمية الإشعاع المكتسبة يومياً.

A_{colec} *مساحة اللاقط الشمسي.*

$$Q_1 = 0.540 \times 25352.28 \times 0.555 = 8212.960 \quad \text{kJ/day}$$

الضياعات الحرارية أثناء الليل وانعدام الإشعاع الشمسي (هنا 11 ساعة يومياً).

$$Q_2 = K_{\tan k} . A_{\tan k} (t_m - t_a) \times 3600 \times 11 / 1000$$

$$Q_2 = 859.623 \quad \textbf{kJ/day}$$

وبالتالي طاقة اللاقط الشمسي الصافية:

$$Q_3 = Q_1 - Q_2 = 7353.337 \quad \text{kJ/day}$$

2-8-3-4 كمية الحرارة اللازمة للمخمر:

إن كمية الحرارة اللازمة للمخمر تعطى بالعلاقة:

$$Q_R = Q_c + Q_s \qquad (2-5)$$

حيث

Q_c الضياعات الحرارية من المخمر للجو الخارجي

Q_s كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة الروبة من درجة حرارة الدخول حتى درجة حرارة التخمير

إن كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة الروبة من درجة حرارة الدخول t_{in} حتى درجة حتى الدرجة t_R درجة حرارة التخمير المطلوبة خلال 24 ساعة تعطى بالعلاقة التالية [24] :

$$Q_s = m_R^o . Cp_R . (t_R - t_{in}) / T = \rho_R V_R . Cp_R . (t_R - t_{in}) / T \qquad (3-5)$$

m_R^o كتلة الروبة الموجودة داخل المخمر.

Cp_R السعة الحرارية للمادة المخمرة .

V_R حجم الروبة في المخمر.

T الزمن اللازم لرفع درجة حرارة الروبة وقد اعتمدنا الزمن اللازم هو 48 ساعة .

وبالحساب ينتج $Q_s = 7600.28 / 2 = 3800.14$ kJ/day

وهذا بالنسبة لمخمر دفعي، حيث إننا بحاجة لرفع درجة حرارة المخمر إلى درجة حرارة التخمير في بداية التخمير وهو يومان على الأقل، بعدها يصبح الحمل الحراري المطلوب للمخمر هو لتأمين الفقد الناتج عن الضياعات عبر جدران المخمر مع الوسط الخارجي.

كمية الحرارة المتبادلة مع الوسط الخارجي يعطى بالعلاقة التالية [24] :

$$Q_c = K_R . A_R (t_R - t_a) \qquad (4-5)$$

وبالحساب ينتج

$$Q_c = 3646.57 \quad \text{kJ/day}$$

وبالتالي كمية الحرارة اللازمة للمخمر

$$Q_R = 7297.92 \quad \text{kJ/day}$$

Q_3 kJ/day	نسبة Q_C/Q_R %	Q_R kJ/day	Q_S kJ/day	Q_C kJ/day	V_R m^3	V_D m^3
7353.337	49.43%	7514.05	3800.14	3713.91	0.0942	0.1508

4-4 خلاصة النتائج :

1- إن استخدام الطاقة الشمسية في رفع درجة حرارة التخمير ونتيجة بالمقارنة بين التجارب الأربعـــة التي قمنا بها أدى إلى :

أ- زيادة سرعة إنتاج الغاز الحيوي الجدول (4-34).

ب-خفض زمن بقاء الروبة ضمن المخمر الشكل (3-4).

ت-زيادة جودة السماد العضوي نظراً للتخمر الجيد جدول (4-32- A) و(4-32- B) .

2- تبدأ درجة حرارة المخمر بالارتفاع، وذلك بدءاً من الساعة السابعة أو الثامنة صباحاً، وذلك مع بدء الكسب الحراري الشمسي ويستمر بالارتفاع حتى الساعة السادسة في التجربة رقم 1 وإلى الساعة الخامسة في التجربة (3) وإلى الساعة العاشرة ليلاً في التجربة (4) وذلك بسبب وجود فائض فـــي كمية الحرارة في الخزان الشمسي في التجربة رقم (4).

3- الطقس الغائم وشبه الغائم في الشهر 12-2009 والشهر 1-2010 في التجربة الأولى أعطى نتائج متدنية للطاقة في اللاقط الشمسي، حيث لم يتمكن اللاقط من رفع حرارة المخمر أكثر مــن 10^oC فوق درجة حرارة الجو، بينما كان الارتفاع في التجربة الثالثة التي جرت فـــي شـــهر آذار 17^oC عن درجة حرارة الجو مع وجود فائض منخفض في الخزان الحراري، بينما التجربة الرابعة التي جرت في الشهر الرابع والخامس بلغ الارتفاع حوالي $17.5\ ^oC$ عن درجة حرارة الجو الخـــارجي مع وجود فائض كبير نسبياً في كمية الحرارة في الخزان الحراري.

4- بلغت قيمة الضياعات الحرارية عبر جدران المخمر عند عامل انتقـــال حـــرارة كلـــي مقـــداره $1.488\ W/(m^2.k)$ هو 49.57% من الحمولة الحرارية للازمة للمخمر، أما بالنسبة لكمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة المخمر لدرجة حرارة التخمير، فيتم تخفيضها عن طريق زيادة مدة بدء تشغيل المخمر.

5- 4-5 التوصيات :

بناءً على النتائج السابقة نقترح ما يلي:

1. العمل على تشجيع استخدام الغاز الحيوي في المناطق الريفية ومزارع الأبقار والتشجيع على استخدام الطاقة الشمسية لرفع درجة حرارة التخمير بهدف رفع كفاءة المخمر.
2. يوصى بتخفيض كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة المخمر لدرجة حرارة التخمير عن طريق زيادة مدة بدء التشغيل واستثمار عدة مخمرات تستفيد من نفس مصدر الطاقة الشمسية وجعل فاصل زمني مابين إقلاع المخمر الأول والثاني من أجل الاستفادة من الفائض الحراري في رفع درجة حرارة المخمر الثاني بعد إقلاع المخمر الأول.
3. تشجيع العمل على استثمار مخمرات ذات تغذية مستمرة كونها تستمر بالعمل لمدة طويلة لذلك تعتبر فترة بدء تشغيل المخمر شبه مهملة، حيث إن المطلوب فقط هو رفع درجة حرارة الشحنة اليومية المقدمة للمخمر.
4. يوصى بتخفيض قيمة الضياعات الحرارية عبر جدران المخمر عن طريق تخفيض عامل الانتقال الحراري الكلي للمخمر، وذلك عن طريق اختيار طرق عزل حرارية مناسبة لظروف بناء المخمر وذلك من أجل التغلب على الظروف الجوية الغائمة والباردة.
5. يوصى بالعمل على متابعة البحث في مجال التخمير اللاهوائي من أجل زيادة فعالية التخمير والاستخدام الأمثل للطاقة الشمسية في مجال التخمير اللاهوائي ودراسة إمكانية استخدام درجات حرارة أعلى للتخمير أكثر من $37.5\ ^{o}C$ من أجل تخفيض فترة عملية التخمير.
6. نقترح بناء مخمر مناسب ذي تغذية مستمرة تابع للجامعة في إحدى المزارع مزود بتجهيزات مخبرية ذات تقنية عالية من أجل إجراء دراسات أوسع تشمل أنواعاً أكثر للمواد القابلة للتخمير المتوفرة في سوريا من أجل تحقيق الاستفادة القصوى من هذه الطاقة المهمة.

الرموز والمصطلحات

الرمز	الوصف والواحدة
EJ	Exa jouls 10^{18} jouls
EU27	دول الاتحاد الأوروبي 27 دولة
$\eta(x)$	مردود اللاقط الفعلي
η_o	مردود اللاقط النظري
a_1	معامل فقد الحرارة الأول الخطي في اللاقط الشمسي $(W/(m^2K))$
a_2	معامل فقد الحرارة من الدرجة الثانية في اللاقط الشمسي $(W/(m^2K^2))$
t_m	درجة حرارة الخزان الحراري الوسطية ^oC
x	$X=(t_m-t_a)/2$
G	شدة الاشعاع الشمسي (W/m^2)
t_a	درجة حرارة الجو المحيط (^oC)
K	معامل الميلان الزاوي للاقط
$K_{\theta L}$	معامل الميلان الطولي
$K_{\theta T}$	معامل الميلان العرضي
VOL%	نسبة حجمية
ppm	جزء من المليون
nm^3	متر مكعب ضمن الشروط العادية 1 at درجة حرارة 0-20 ^oC
H	ارتفاع المخمر (m)
h_g	ارتفاع الغطاء المتحرك (m)
d_i	قطر حجرة التزويد (m)
h_i	ارتفاع حجرة التزويد (m)
d_o	قطر حفرة التفريغ (m)
h_o	ارتفاع حجرة التفرغ (m)
R	نصف قطر المخمر (m)
DVR	مسجل فديو رقمي Digital Video Recording
t_{wout}	درجة حرارة الماء الخارج من الخزان الحراري (^oC)
t_{min}	درجة الحرارة الدنيا للخزان الحراري المحددة في دارة التحكم (^oC)
l_g/m^3_R	لتر غاز /متر مكعب مادة مخمرة
oTS%	نسبة المواد العضوية الجافة **organic dry matter**

$Ash\%$	نسبة الرماد
$N\%$	نسبة النتروجين
K_2O	بوتاسيوم
Fe	حديد
Zn	زنك
V_a	حجم الغاز الموجود في المخمر (m^3) في الشروط P=1 Bar t= 15 ^oC
$V`_g$	حجم الفراغ في المخمر (m^3)
V_g	حجم الإنتاج اليومي للغاز (m^3) في الشروط P=1 Bar t= 15 ^oC
V_{gtotal}	حجم الإنتاج التراكمي للغاز (m^3) في الشروط P=1 Bar t= 15 ^oC
V_{Eg}	حجم الإنتاج اليومي النوعي للغاز ((l_g/m^3_R)) في الشروط P=1 Bar t= 15 ^oC
$V_{Egtotal}$	حجم الإنتاج التراكمي النوعي للغاز ((l_g/m^3_R)) في الشروط P=1 Bar t= 15 ^oC
D	قطر المخمر(m)
V_R	حجم المادة المخمرة (m^3)
H_R	ارتفاع المادة المخمرة (m)
V_D	حجم المخمر (m^3)
K_R	معامل الانتقال الحراري الكلي للمخمر (($W/(m^2.K)$
t_R	درجة حرارة التخمير (^oC)
A_{colec}	مساحة اللاقط المستخدم (m^2)
V_{tank}	حجم الخزان الحراري (m^3)
K_{tank}	معامل انتقال الحرارة الكلي للخزان الحراري (($W/(m^2.K)$)
A_{tank}	سطح التبادل للخزان الحراري مع الجو (m^2)
A_R	سطح التبادل في المخمر مع الجو (m^2)
Cp_R	السعة الحرارية للمادة المخمرة
m^o_R	كتلة الروبة (kg)
ρ_R	كثافة الروبة (kg/m^3)
Q_1	استطاعة اللاقط الشمسي (kJ/day)
Q_2	الضياعات الحرارية أثناء الليل من الخزان الحراري (kJ/day)
Q_3	استطاعة اللاقط الصافية (kJ/day)
Q_C	الضياعات الحرارية من المخمر للجو الخارجي (kJ/day)
Q_S	كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة الروبة لدرجة التخمير (kJ/day)
Q_R	كمية الحرارة اللازمة للمخمر(kJ/day)

المراجع العلمية

[1] **Kopal,Z**.The Solar System. London, U.k : Oxford University Press, **1972**.PP. 6- 9

[2] **McMullan, J.T, Morgan, R, and Murray, R.B.,** Energy Resources and Supply. U.K: John Willey and sons, London, **1976**.PP.12- 19.

[3] **Meniel A.B and Meniel, M.P.,** Applied Solar Energy. London, U.K: Adison-Wesley, Publishing Co**, 1976** .P.40

[4] **Sayigh, A. A. M and Backus, Charles E [et al.]**. Solar energy engineering. New York : Academic Press, 1977, p.506

[5] **Lorenzo, E., G. Araujo, A. Cuervas, M. Egido, J. Minano, and R. Zilles .** Solar Electricity Engineering of Photovoltaic Systems , **1994**.PP.340

[6] **Martin Kaltschmitt .** Renewable sources of energy within the energy system Possibilities and Constraints. **2008**. in cooperation with Institute of Environmental Technology and Energy Economics, Hamburg University of Technology Kaltschmitt, M.: Renewable sources of energy within the energy system – Possibilities and constraints; Natural Gas Technology Futures Workshop, Damaskus, Syrien, 2010

[7] **أ.د.م.محمد باكير** . صناعة نظم التسخين الشمسي المتطورة . لجنة الطاقة المركزية بالتعاون مع فرع نقابة المهندسين في حماه بإشراف لجنة الطاقة في اتحاد المهندسين العرب, كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة البعث ,**2006**.

[8] **م. فادي طوفي جامعة تشرين.** رسالة ماجستير ترشيد استهلاك الطاقة لقرية بيئية نموذجية باستخدام الطاقة الشمسية . اللاذقية : جامعة تشرين ،**2009**.

[9] ESTIF/Nielsen.Recommendation: Converting solar thermal collector area into installed capacity . 2004.

[10] **Blank Daniel ,Brockmann Ksenia ,Burian Martin ,Foerster Elke and Kapor Zoran** . Mini Biogas Plants for Households. ***2nd Version*** United Nations Environment Programme Riso Center **, 2009**.

[11] **James Kuria** .DEVELOPING SIMPLE PROCEDURES FOR SELECTING, SIZING, SCHEDULING OF MATERIALS AND COSTING OF SMALL BIO – GAS UNITS. Jomo Kenyatta University of Agriculture and Technology P.O. Box 62000-00200 Nairobi, Tel: (067)52711, Kenya, **2008**.

[12] **JAN K. JENSEN**. BIOGAS AND NATURAL GAS FUEL MIXTURE FOR THE FUTURE. Danish Gas Technology Centre ANKER B. JENSEN, Naturgas Midt-Nord. Hørsholm, Denmark **,2000**.

[13] **David Fulford** . Running a Biogas Programme. Immediate Technology Publications . **1988** .pp . 187.

[14] **Gerhard Eggeling ,J. Götz Mackensen , L. Sasse and Jens Hohlfeld** . Production and Utilization of Biogas in Rural Areas of Industrialized and Developing Countries. **Eschborn, Germany : Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit ,1986.**

[15] **Bhatia R.and Niamir M., 1979**.Renewable Energy Sources: The Community Biogas Plant. Seminar at the Dept of Applied Sciences, Harvard University, USA.

[16] **National Academy of Sciences.**Methane generation from human, animal and agricultural wastes. New York, Hong Kong: Books for Business , **2001**.

[17] **Fowler S ., June.**A Systems Approach to Biogas Technology. Sustainable Development Department (SD), Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO), SD: Environment: Energy and Environmental Technology ,**1997**, http://www.fao.org/sd/EGdirect/EGre0022.htm

[18] **E.J. DaSilva.** Biogas generation: developments. problems, and tasks - an overview.**, Division of Scientific Research and Higher Education, UNESCO, Paris,** **http://www.unu.edu/unupress/unupbooks/80434e/80434E0j.htm#Introduction.**

[19] **John Garcelon J. and Joe Clark J**. Waste Digester Design. University of Florida, Civil Engineering . http://www.ce.ufl.edu/activities/waste/wddins.html

[20] National Academy Press. Energy for Rural Development, Renewable Resources and Alterative Technologies for Developing Countries. Supplement, Washington D. C, 1981.

[21] **El-Halwagi, M. M.** Biogas Technology Transfer and Diffusion. Elsevier applied Science publishers, London, UK, **1984**.

[22] **Kuria K. J.** Extending the Existing Solutions for Domestic Production of Biogas for a Single Homestead to Institutional Provisions. BSc Research Project Report, Jomo Kenyatta University of Agriculture and Technology, **2004.**

[23] ASHRAE. (America Society of Heating , Refrigeration and Air Conditioning Engineers). ASHRAE Handbook of HVAC Applications ,1995-1996.

[24] **Sprenger E, Recknagel H**.Heating and Air conditioning. Vrnjacˇka Banja: Interklima, In Serbian:Grejanje i Klimatizacija, **2002.**

[25] **G.D. Zupancˇicˇ, M. Rosˇ.** Heat and energy requirements in thermophilic anaerobic sludge digestion. National Institute of Chemistry, Department for Chemistry, Biology and Technology of Water,Hajdrihova 19, PO Box 660, SI-1000 Ljubljana, Slovenia ,**2003**.

[26] **Hans Dieter Baehr · Karl Stephan**. Heat and Mass Transfer . Second, revised Edition ,**2006** .pp.705